



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática



Sistemas de Conmutación

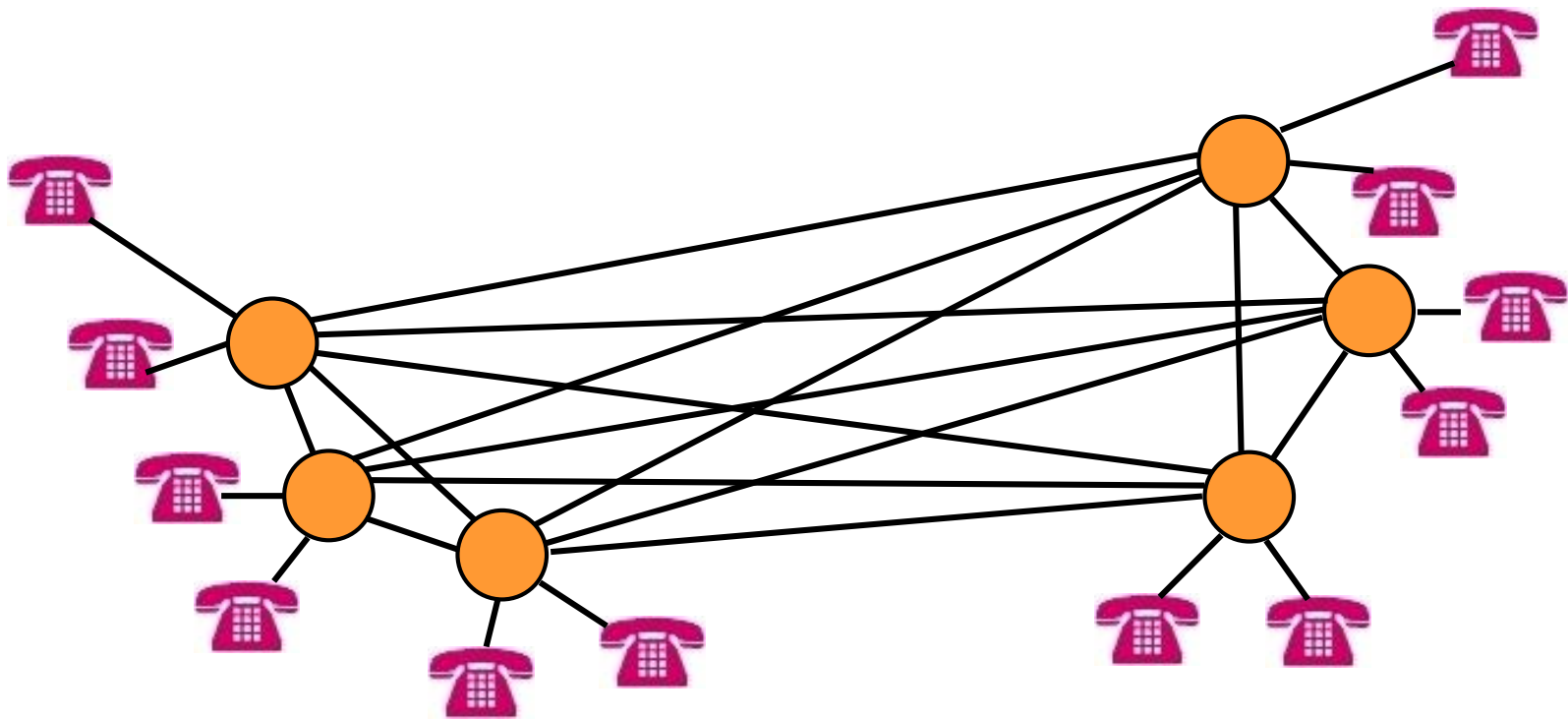
Digitalización de las señales de abonado



Dr. Ing. Álvaro Rendón Gallón
Popayán, abril de 2019

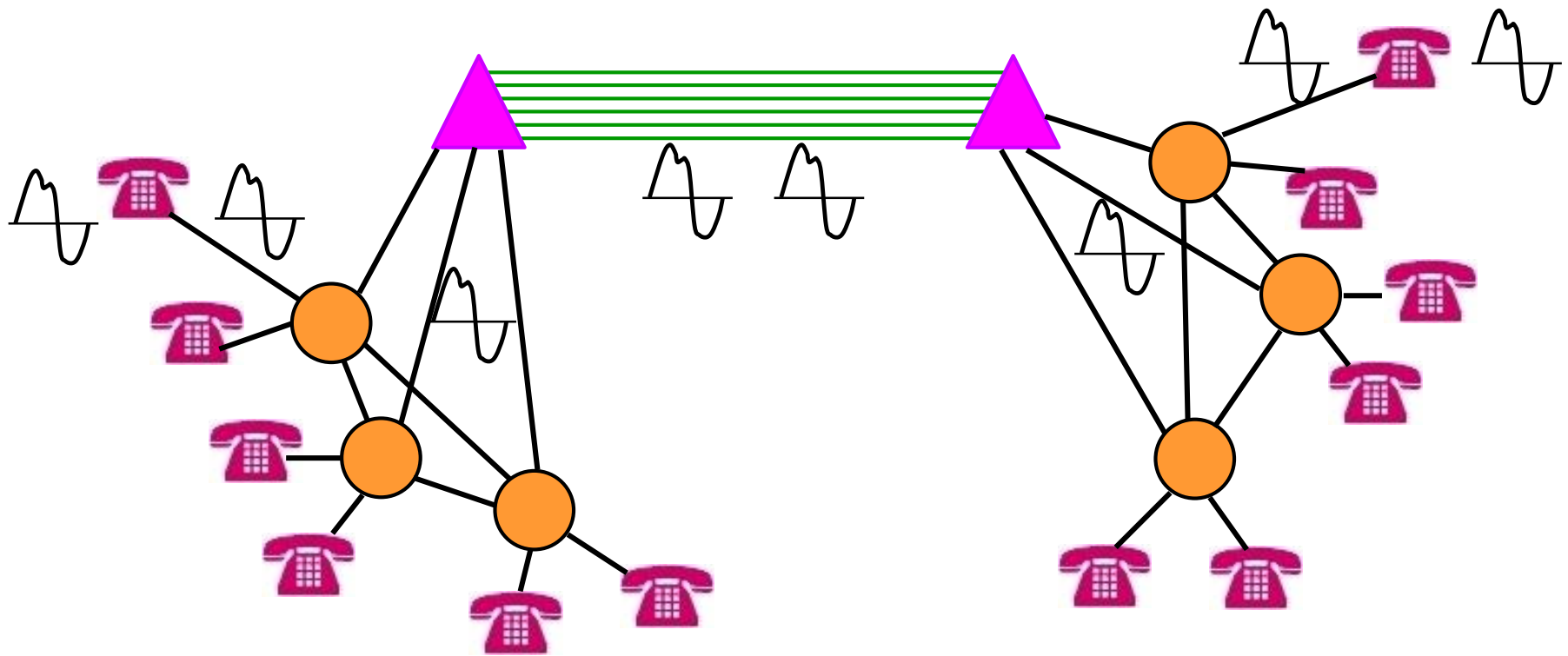
Digitalización de la Red Telefónica

Red análoga en malla



Digitalización de la Red Telefónica

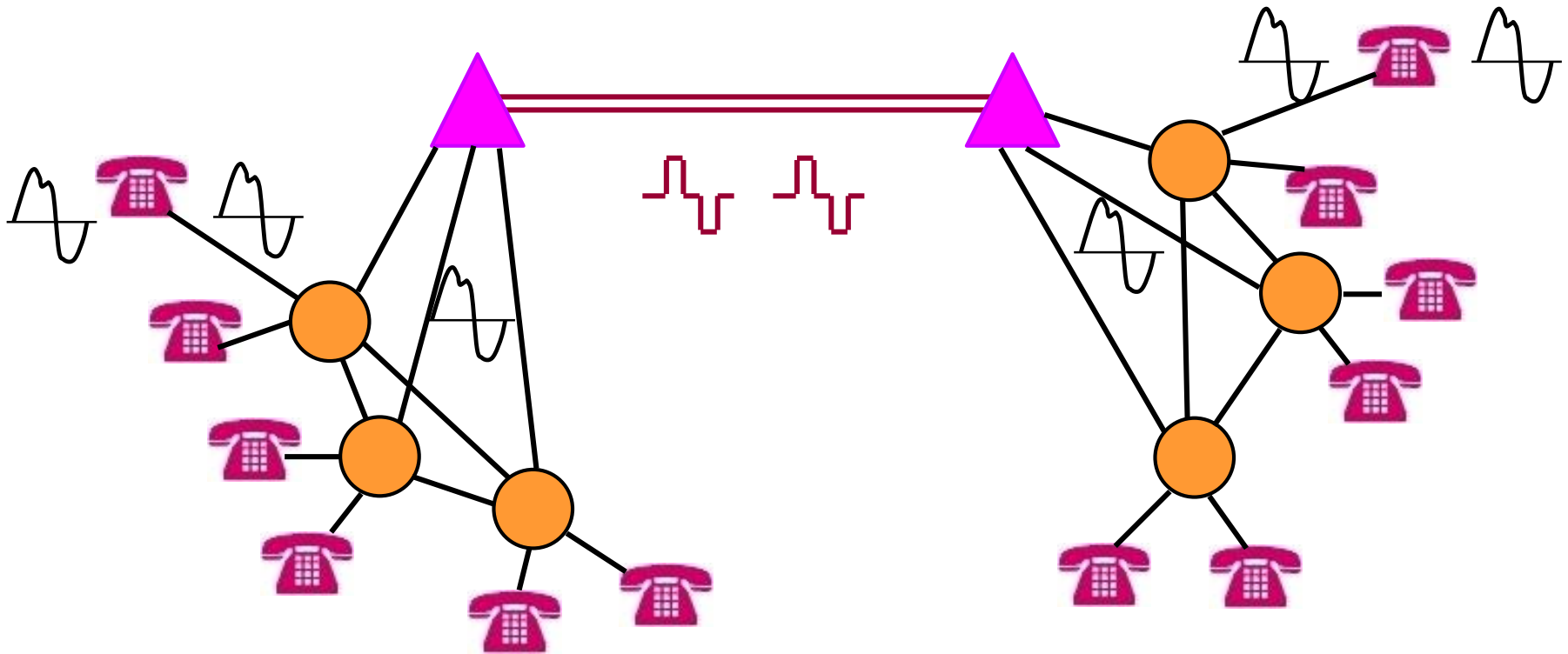
Centrales de tránsito



Uso eficiente de enlaces largos

Digitalización de la Red Telefónica

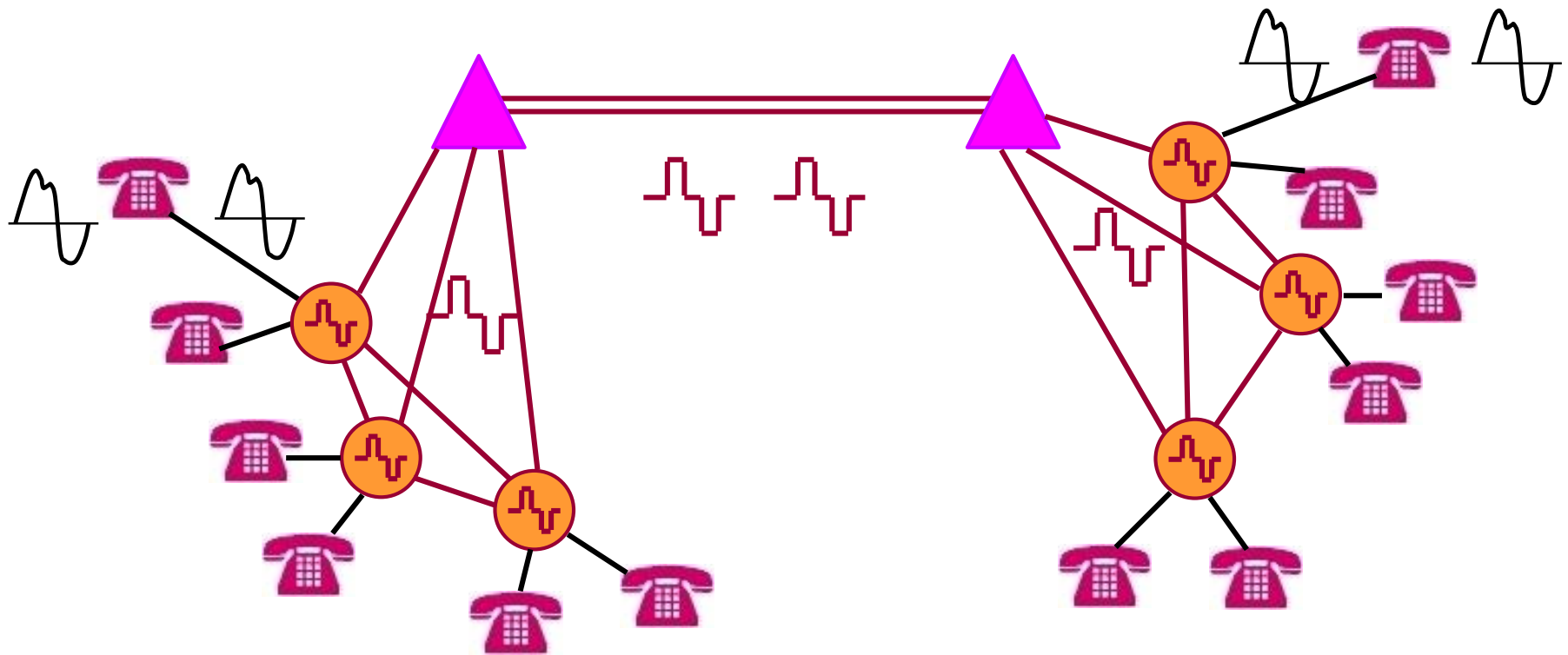
Transmisión digital



Uso de Modulación por Impulsos Codificados (MIC/PCM) y Múltiplex por División de Tiempo (TDM)

Digitalización de la Red Telefónica

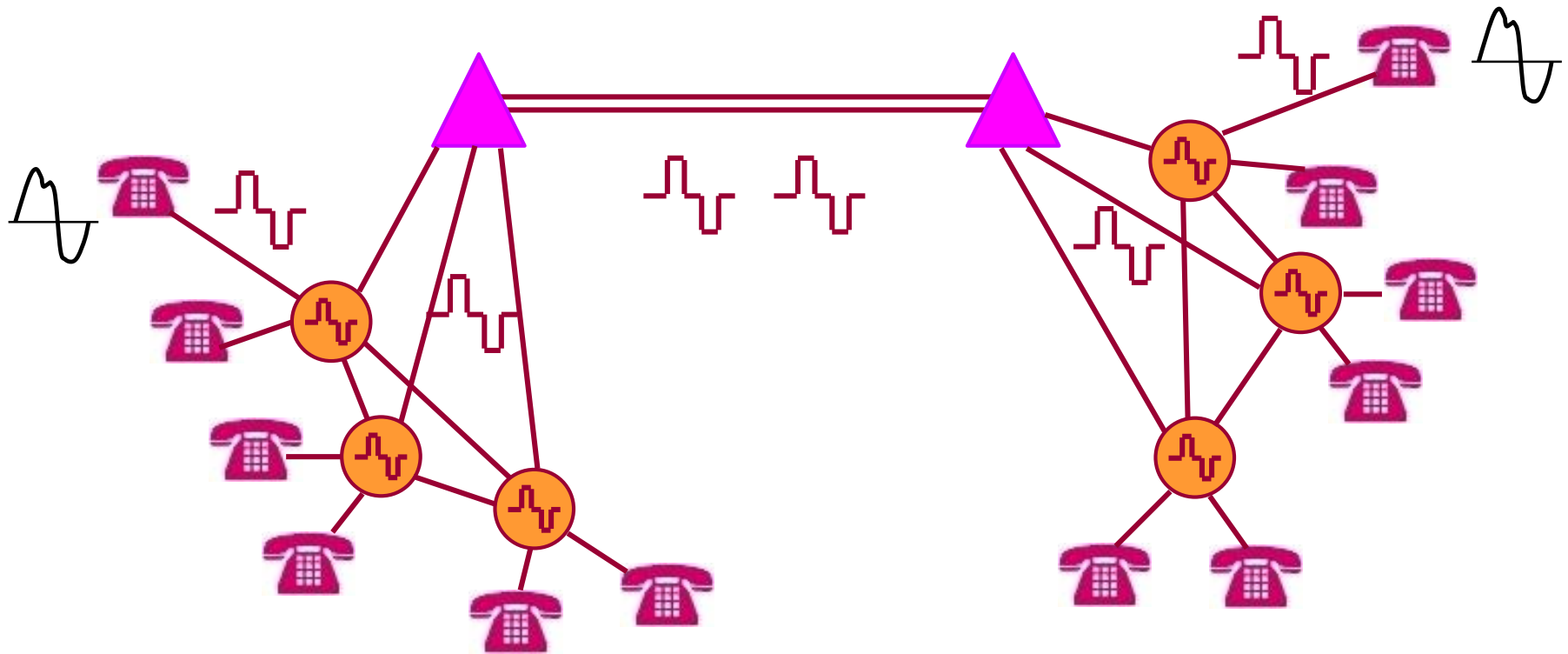
Red Digital Integrada



Digitalización en los circuitos de abonado
Centrales digitales (conmutación y control)

Digitalización de la Red Telefónica

Red Digital de Servicios Integrados



Digitalización de la línea de abonado
Uso de la línea de abonado para voz y datos

Temario

- **Modulación por Impulsos Codificados**
 - Muestreo, Cuantificación, Codificación
 - Adaptación a la línea
 - Multiplexación (TDM): PDH, SDH
- **Función BORSCHT**
 - Interfaz de línea de abonado
 - Bloques funcionales
- **Acceso RDSI/ISDN**
 - Introducción a RDSI/ISDN
 - Configuración de referencia
 - Interfaces S/T y U

Temario

- **Modulación por Impulsos Codificados**
 - Muestreo, Cuantificación, Codificación
 - Adaptación a la línea
 - Multiplexación (TDM): PDH, SDH
- **Función BORSCHT**
 - Interfaz de línea de abonado
 - Bloques funcionales
- **Acceso RDSI/ISDN**
 - Introducción a RDSI/ISDN
 - Configuración de referencia
 - Interfaces S/T y U

Modulación por Impulsos Codificados (MIC/PCM)

Inventada por Alec Reeves en 1937

La patente Francesa se registró en 1938

Sólo a partir de la invención del transistor (1947) fue factible colocar en servicio MIC en la Red Telefónica, a comienzos de los años sesenta



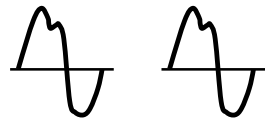
Su objetivo inicial fue disminuir los problemas de **ruido y distorsión** en la transmisión de las señales de voz, utilizando un **mayor ancho de Banda**.

Modulación por Impulsos Codificados (MIC/PCM)

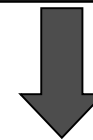
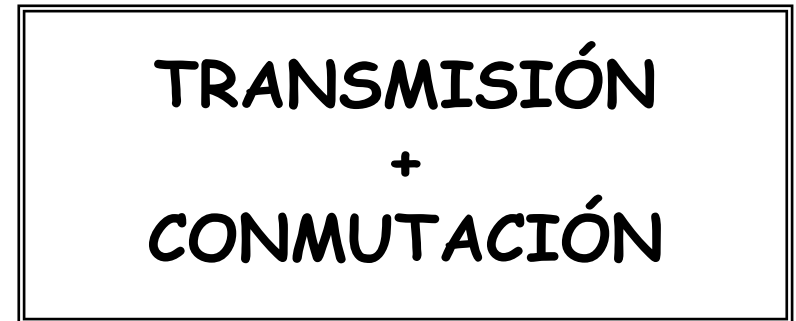
La utilización de MIC inició el proceso de digitalización de la red de telecomunicaciones



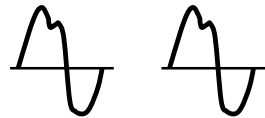
Señal Análoga



Señal Digital



Señal Análoga



Señal Digital



Principios básicos

La técnica MIC permite la conversión de señales **analógicas** a **digitales**

Mediante tres procesos:

Muestreo



Cuantificación



Codificación

01100101

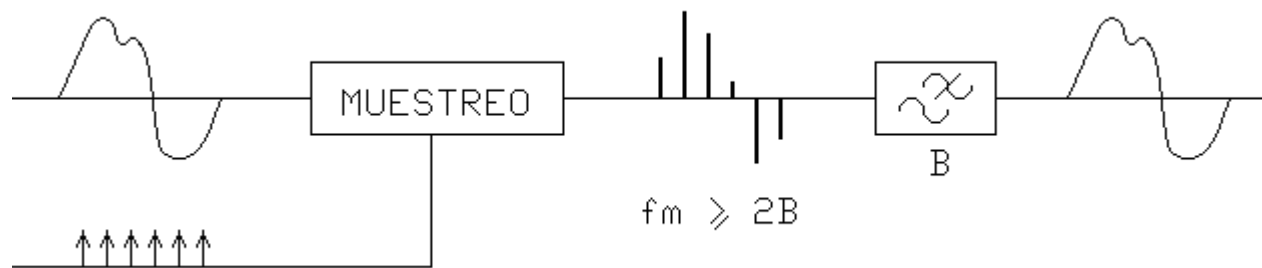
La transmisión de la **información** contenida en una señal **no requiere** la transmisión de **la señal completa**: 1933, Harry Nyquist

Principios básicos

TEOREMA DEL MUESTREO 1933 Harry Nyquist

Es posible transmitir muestras de una señal continua y recuperar toda la información original en el receptor, Si la **frecuencia de muestreo** cumple con la relación:

$$F_m \geq 2 \cdot BW$$



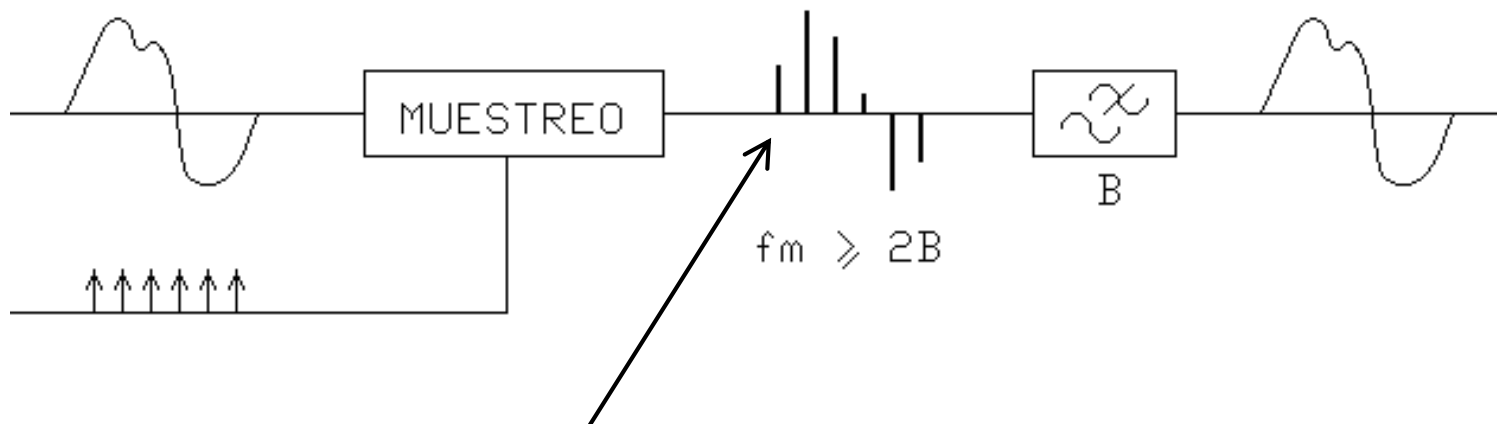
Donde:

F_m = Frecuencia de Muestreo

BW : Ancho de Banda de la señal de entrada

Principios básicos

TEOREMA DEL MUESTREO



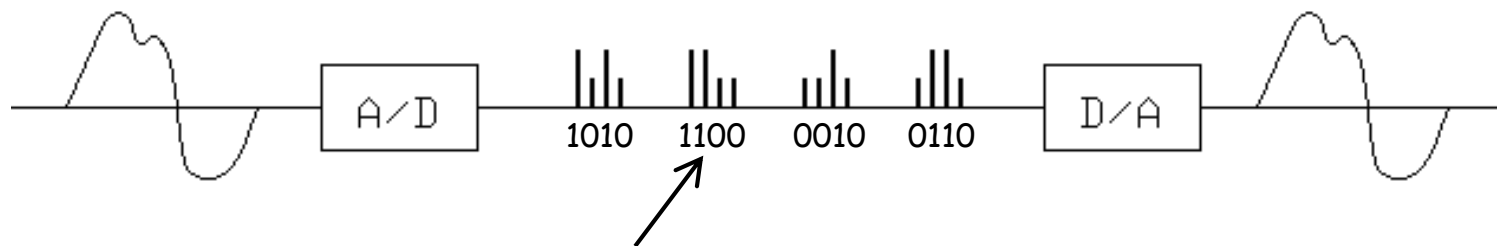
Se obtiene una señal **PAM** (Pulse Amplitud Modulation)

- Sigue siendo una **señal analógica**.
- No es adecuada para TX a grandes distancias
- Sensible a la distorsión en amplitud y fase
- Sensible al ruido

Principios básicos

PROCESO DE DIGITALIZACION

En lugar de transmitir muestras con una amplitud variable de acuerdo a la señal de entrada, se transmite el **valor de las muestras** utilizando un **Código Numérico**



Resultante:

SEÑAL NUMÉRICA
SEÑAL DIGITAL

Conformada por
Dígitos Binarios
(Bits)

Principios básicos

PROCESO DE DIGITALIZACION

Se realiza en dos pasos:

CUANTIFICACIÓN



Determinación del **valor de las muestras** de la señal PAM

CODIFICACIÓN

01100101

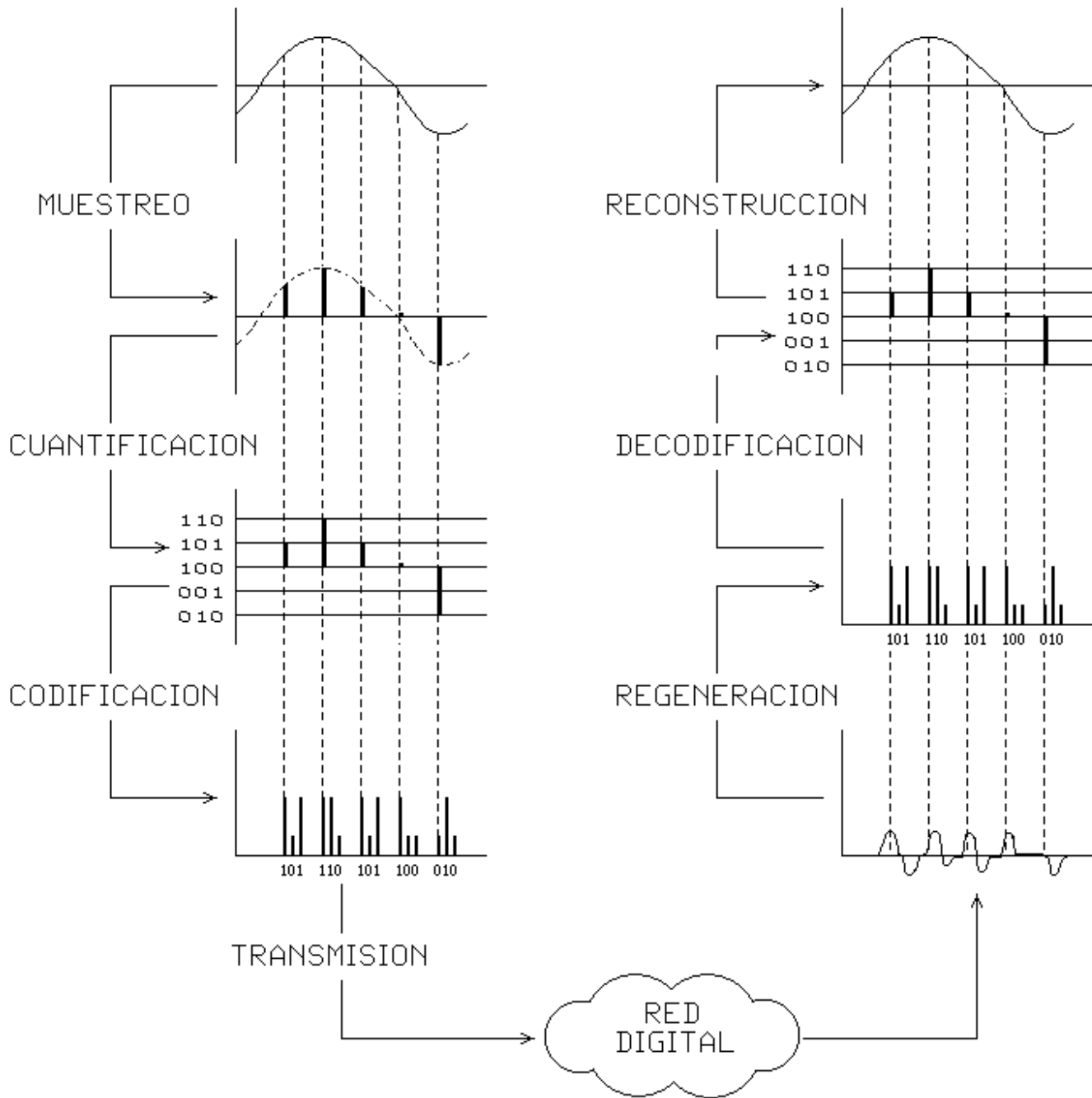
Representación de ese valor mediante un **Código Numérico**

← ←

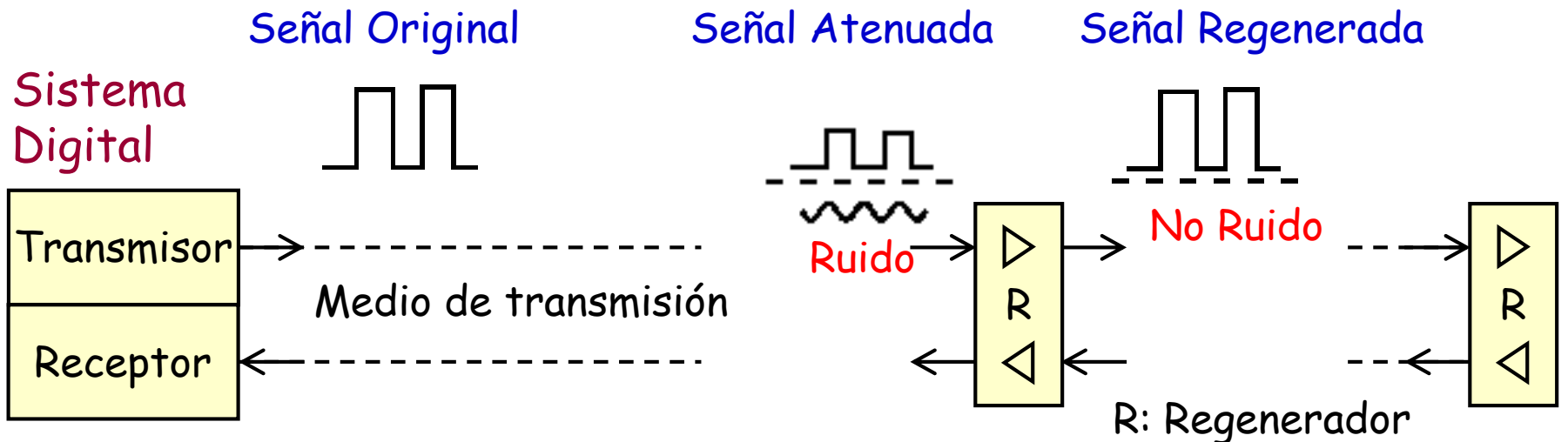
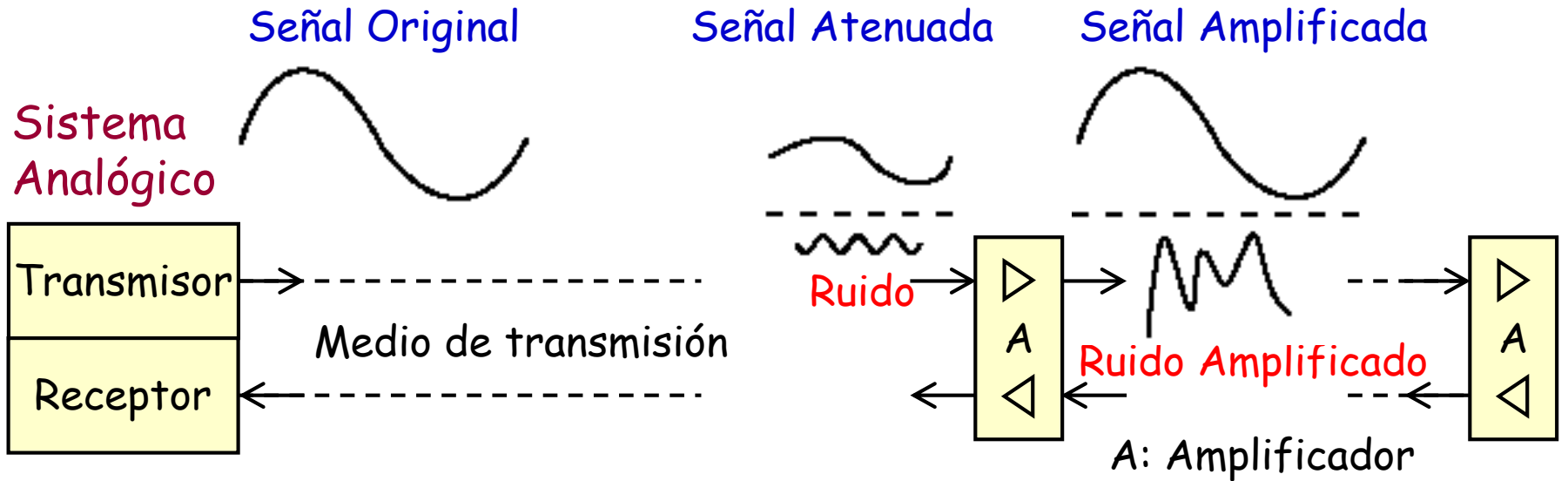
CÓDIGO BINARIO: Tren de Unos y Ceros
Bit = Binary Digit



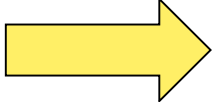
Proceso completo de la señal en la transmisión y en la recepción

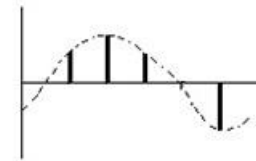
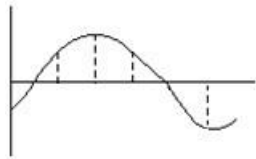



Regeneración



Muestreo

Señal analógica  muestras PAM



- Se usa el espectro de conversación: **300 - 3.400 Hz**
- La señal se pasa por un filtro pasabajo antes del muestreo 
- Nyquist: $F_m = 2 \cdot BW = 6.800 \text{ Hz}$
- UIT-T: **$F_m = 8.000 \text{ Hz}$** (Rec. G.711)

Frecuencias audibles: 20 Hz a 20 kHz

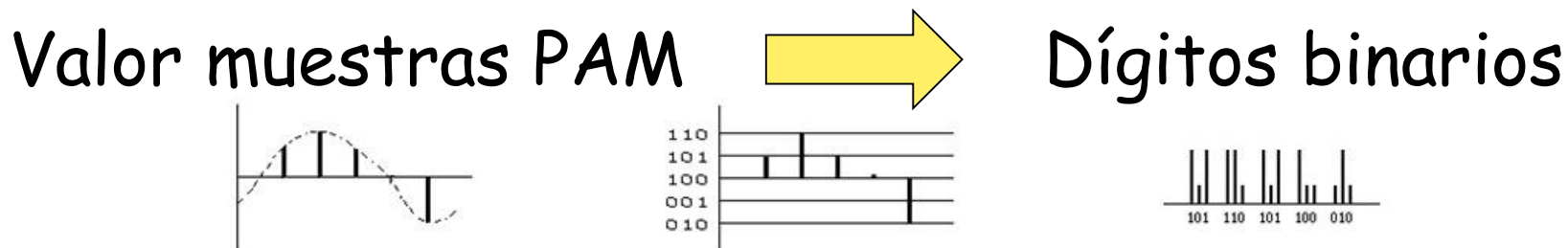
Voz humana: 82 Hz (Mi 1) a 1.175 Hz (Re 5)

Armónicas (timbre): hasta 3.500 Hz

Tono de Invitación a Marcar: 440 Hz (La 3)



Cuantificación



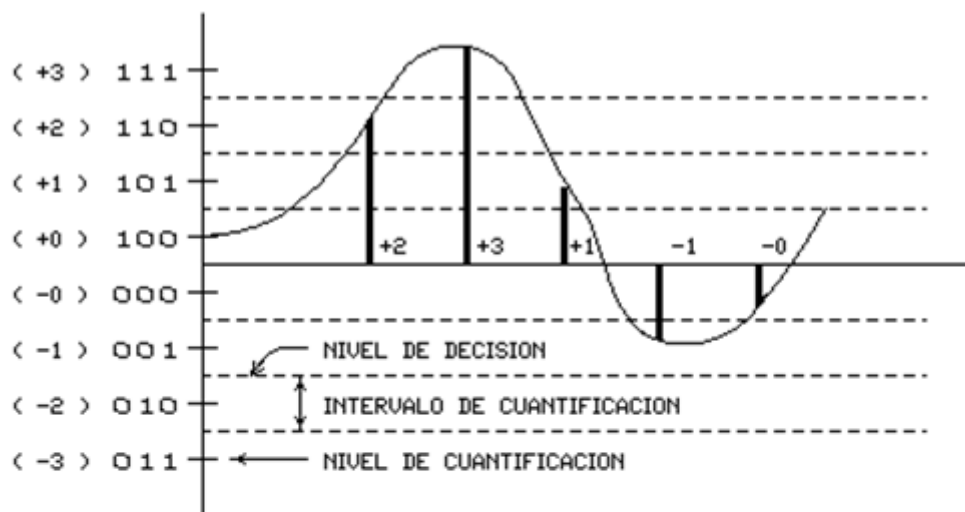
Las muestras PAM tienen **carácter continuo** su amplitud puede tomar un **número infinito** de posibles valores.

La representación binaria tiene **carácter discreto** sólo puede tener **2^n** valores
(n = número de bits por muestra)

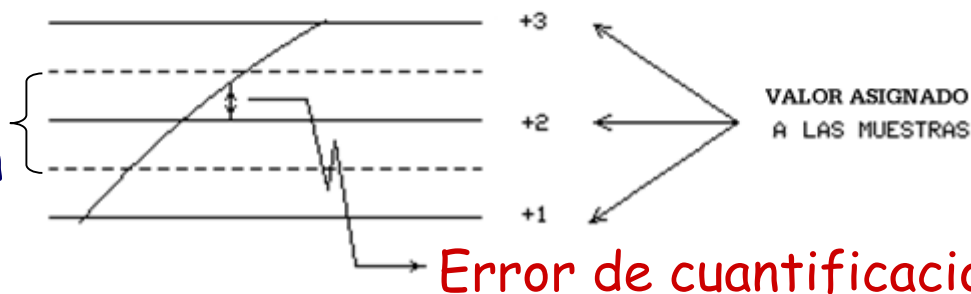
Se define un conjunto de intervalos de amplitud
A todas las muestras que caen dentro de un intervalo se les asigna el mismo valor

Cuantificación

Ejemplo para 8 niveles de cuantificación
(en MIC son 256)



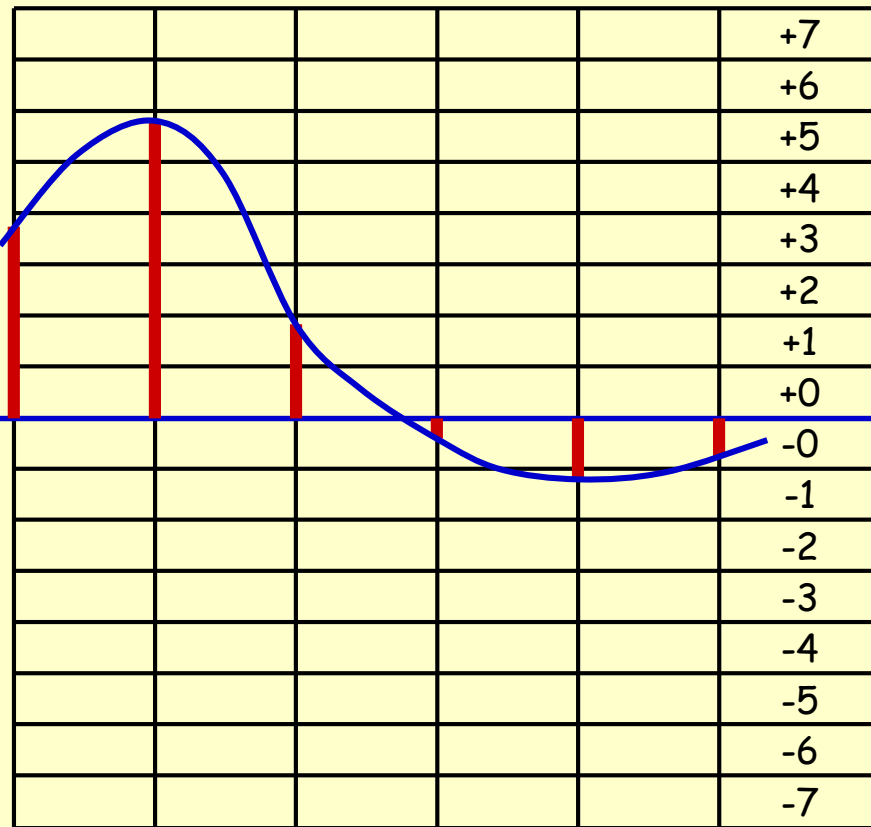
Intervalo de
cuantificación





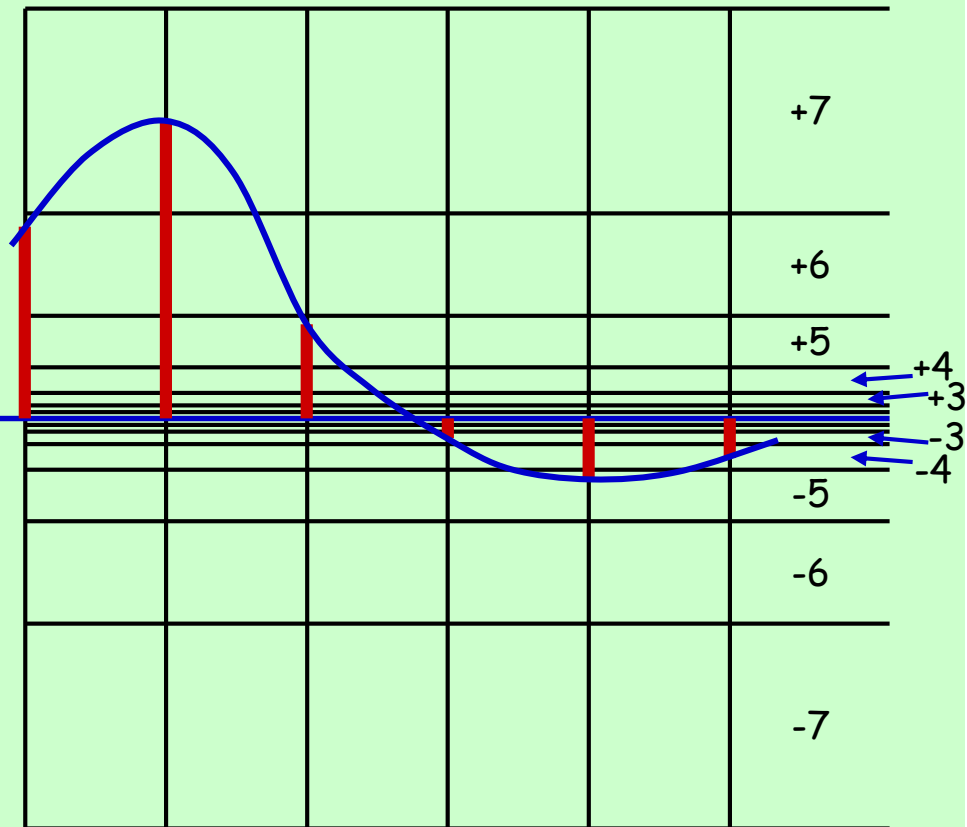
Cuantificación

CUANTIFICACIÓN LINEAL



1011	1101	1001	0000	0001	0000
------	------	------	------	------	------

CUANTIFICACIÓN NO LINEAL



1110	1111	1101	0011	0101	0100
------	------	------	------	------	------

En la cuantificación lineal, las señales débiles son las más distorsionadas (S/N)



Cuantificación

En MIC se utiliza una ley aproximadamente **logarítmica** para determinar el tamaño de los intervalos (256)

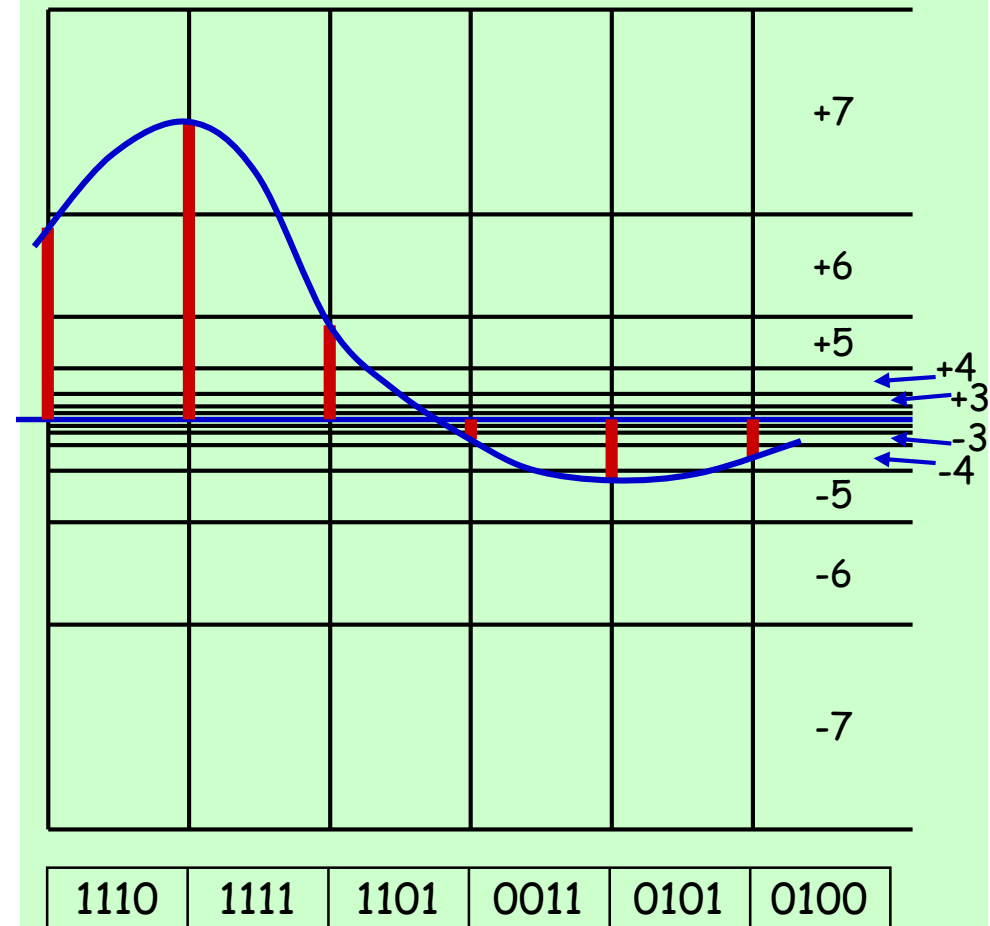
De esa manera, se consigue una S/N aprox. constante

Sistemas MIC32: Ley A

Sistemas MIC24: Ley μ

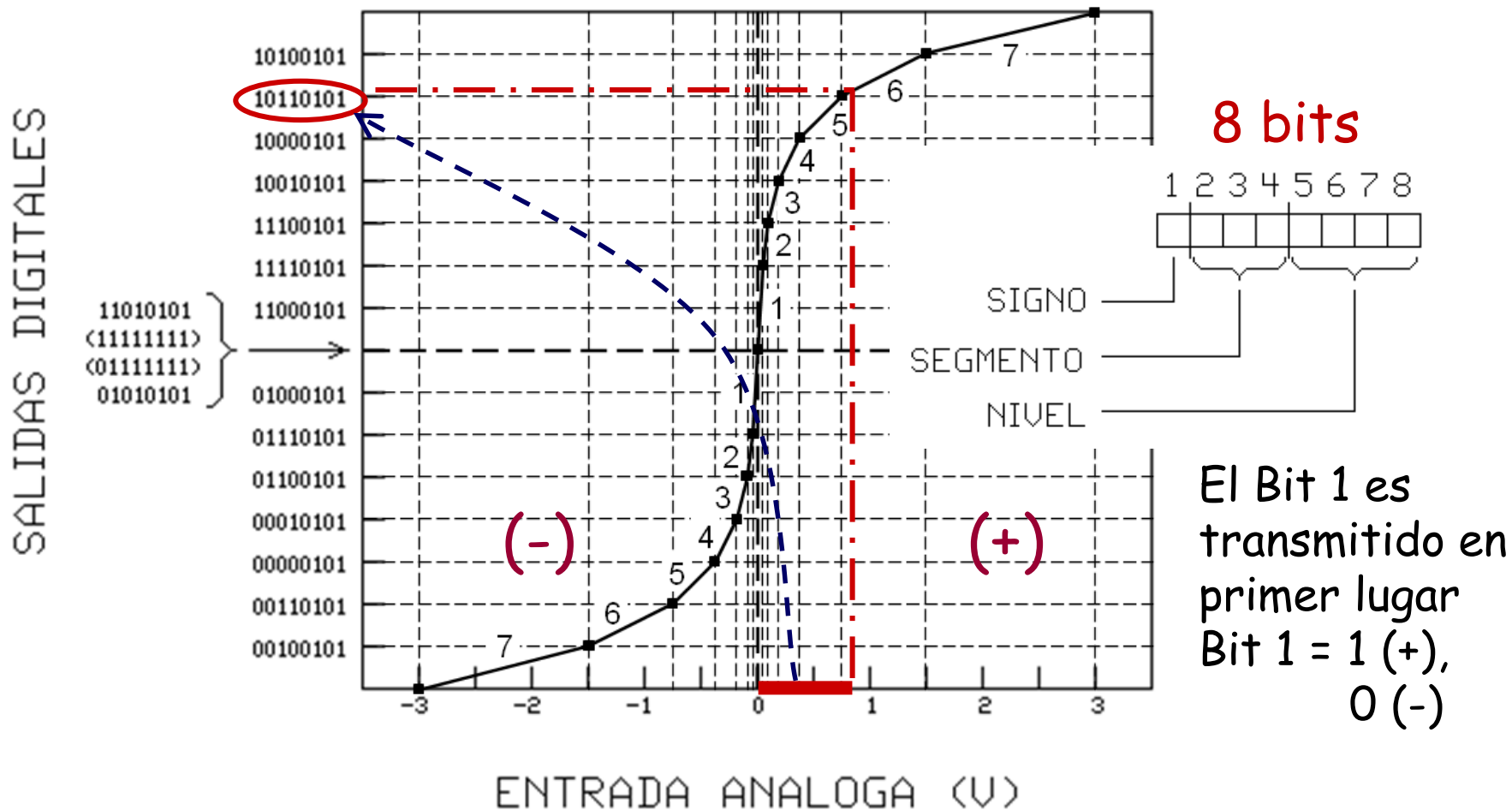
Rec. G.711

CUANTIFICACIÓN NO LINEAL



Codificación

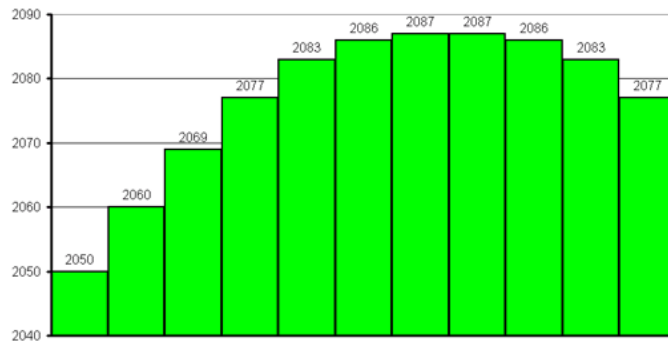
G.711: Característica de transferencia de la Ley A
(cuantificación/codificación)



Otros tipos de modulación digital

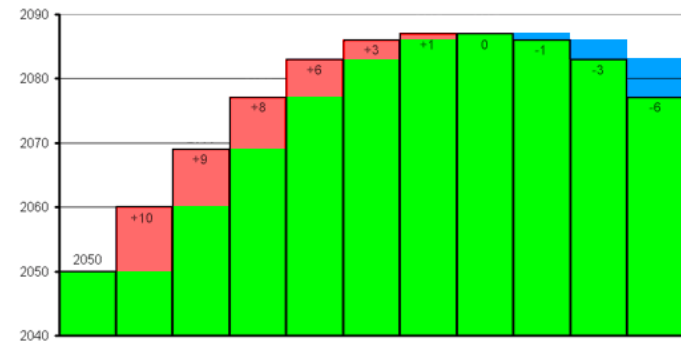
MICD: MIC Diferencial (DPCM)

- Aprovecha las redundancias de la señal de voz



MIC/PCM:
se transmiten las
muestras

8 bits/muestra
64 kbps



MICD/DPCM:
se transmiten las
diferencias entre las
muestras

7 bits/muestra
56 kbps



Otros tipos de modulación digital

MICDA: MICD Adaptativo (ADPCM)

- Predicción de octavo orden
- Cuantificación adaptativa
- Predicción adaptativa

Recomendación ITU-T **G.726**: MICDA a

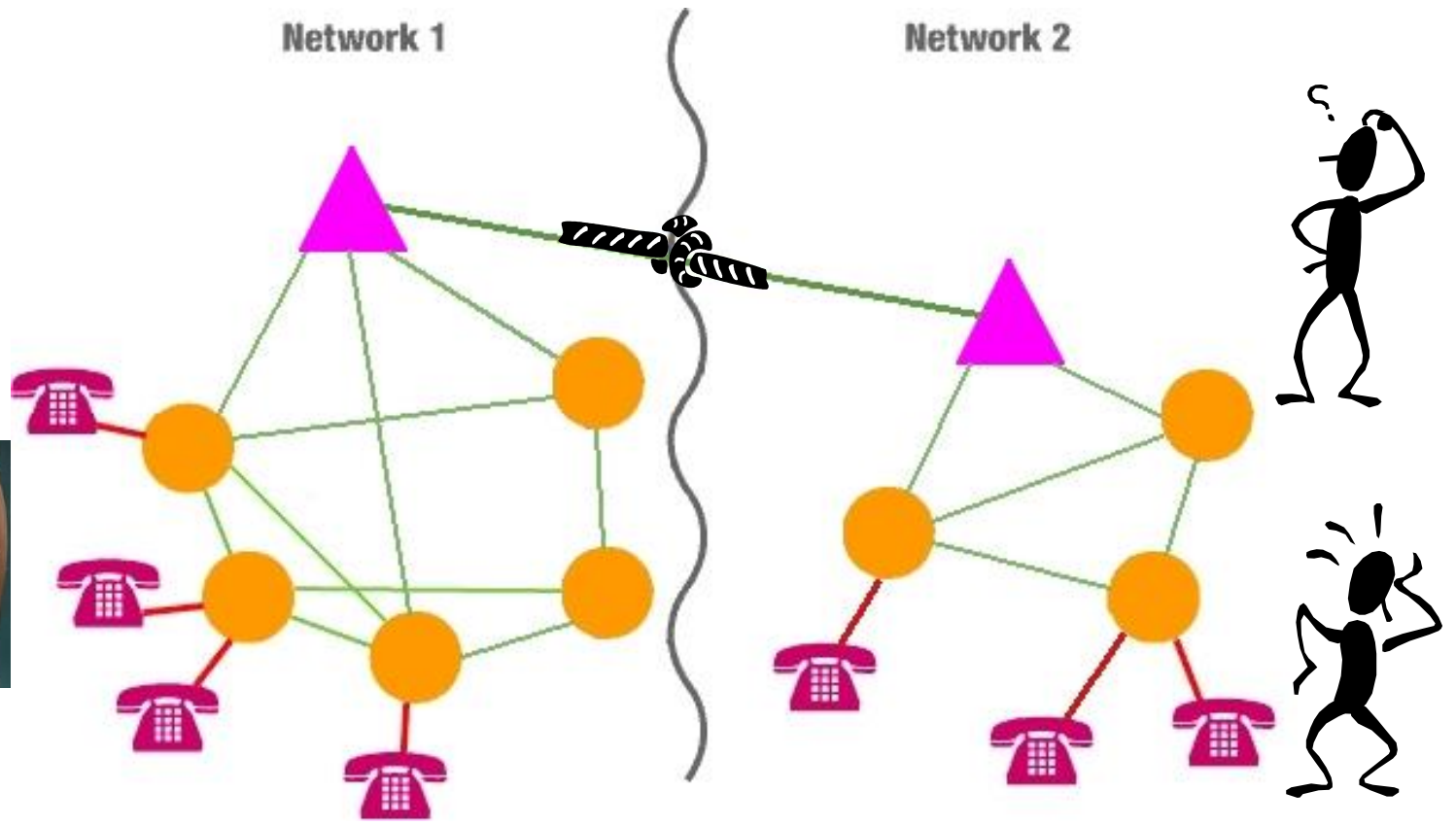
- 40 Kpbs (5 bits por muestra)
- 32 Kpbs (4 bits por muestra)
- 24 Kpbs (3 bits por muestra)
- 16 Kpbs (2 bits por muestra)

Tipos de codecs de voz

Nombre	Entidad	Modulación	Muestreo (kHz)	Tasa de bits (kbps)	Observaciones
G.711	ITU-T	PCM	8	64	u-law y a-law
G.722.2	ITU-T	AMR-WB	16	6.6 a 23.85	UMTS, VoIP, licenciado
G.723.1	ITU-T	MP-MLQ/ ACELP	8	5.6/6.3	VoIP (H.324), licenciado
G.726	ITU-T	ADPCM	8	16/24/32/40	Telefonía fija
G.729	ITU-T	CS-ACELP	8	6.4, 8, 11.4	VoIP
GSM 06.10	ETSI	RPE-LTP	8	13	GSM, VoIP
GSM AMR	3GPP	ACELP	8	4.75 - 12.2	GSM, UMTS
Speex	Speex	CELP	8, 16, 32	2.15-44.2	VoIP, código abierto, gratuito
iLBC	Global IP Sound		8	13.3, 15.2	VoIP, gratuito
SILK	Skype		8, 12, 16, 24	6 a 40	VoIP, código abierto, licenciado

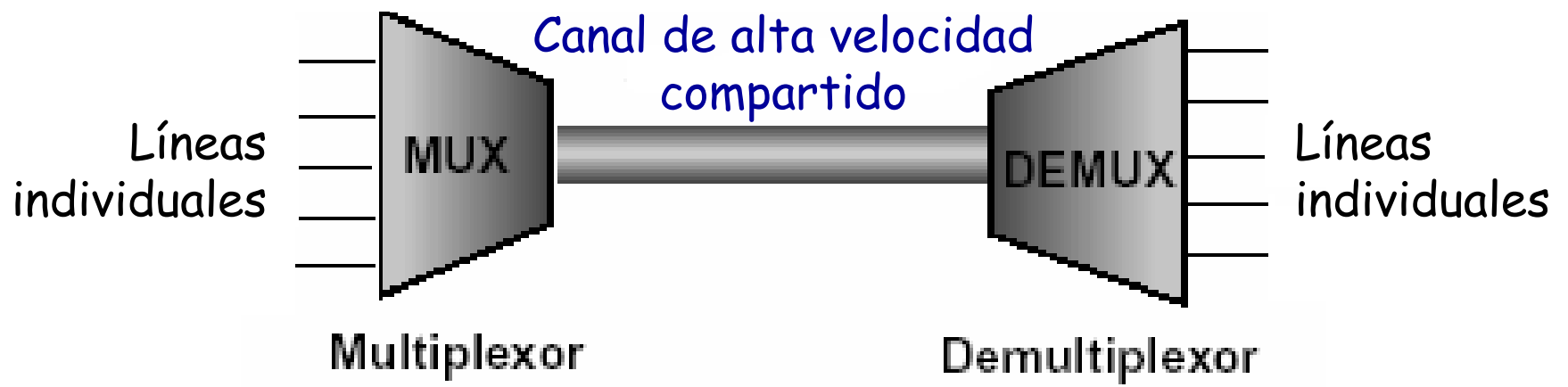
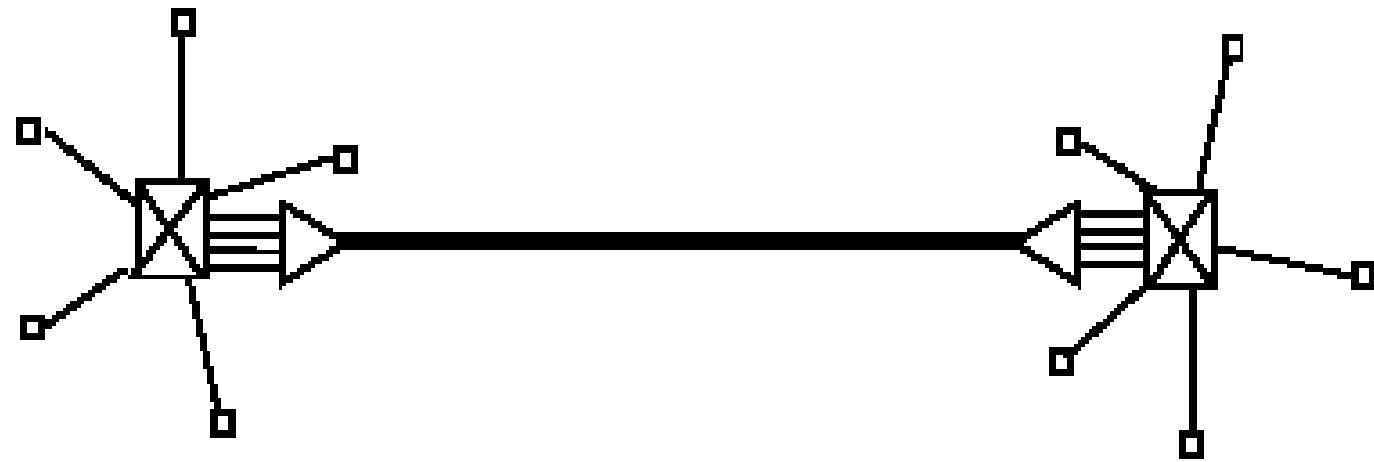


Red de Telecomunicaciones



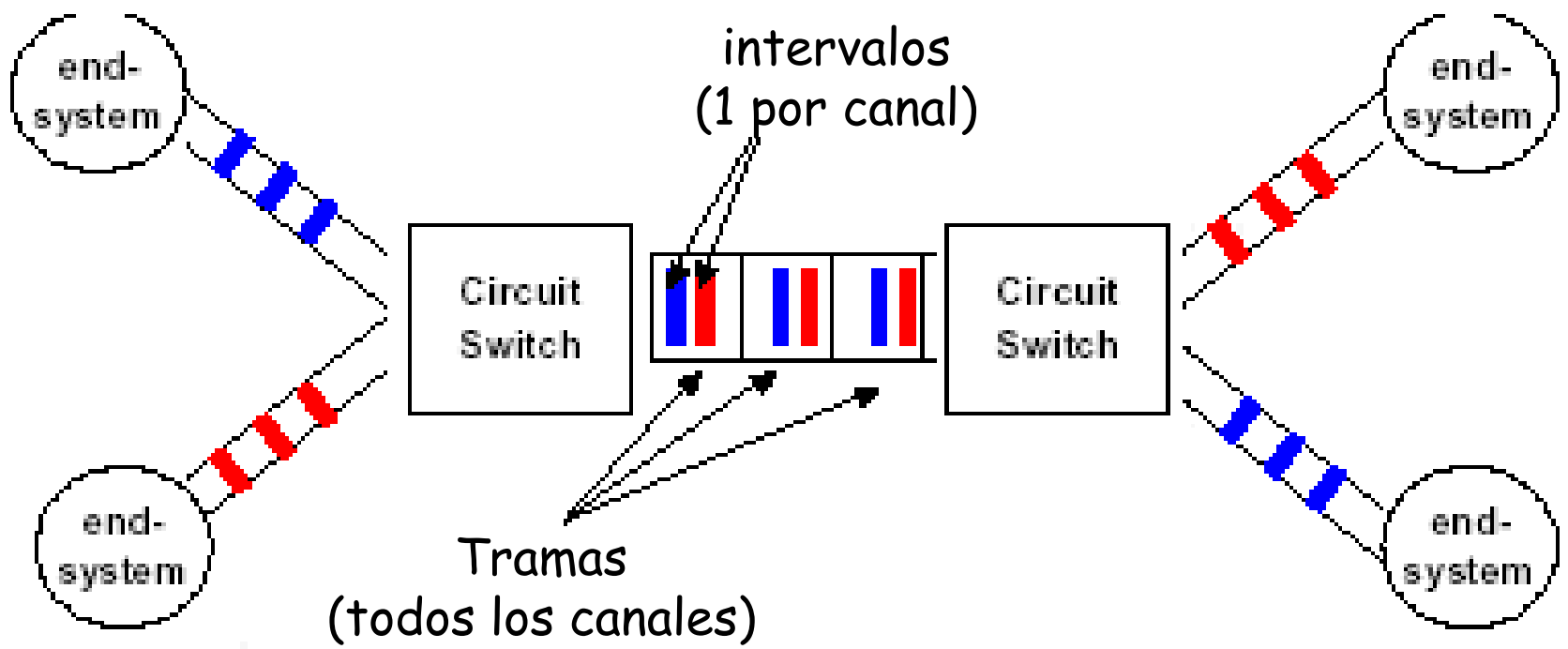


Multiplexación



TDM: Múltiplex por División de Tiempo

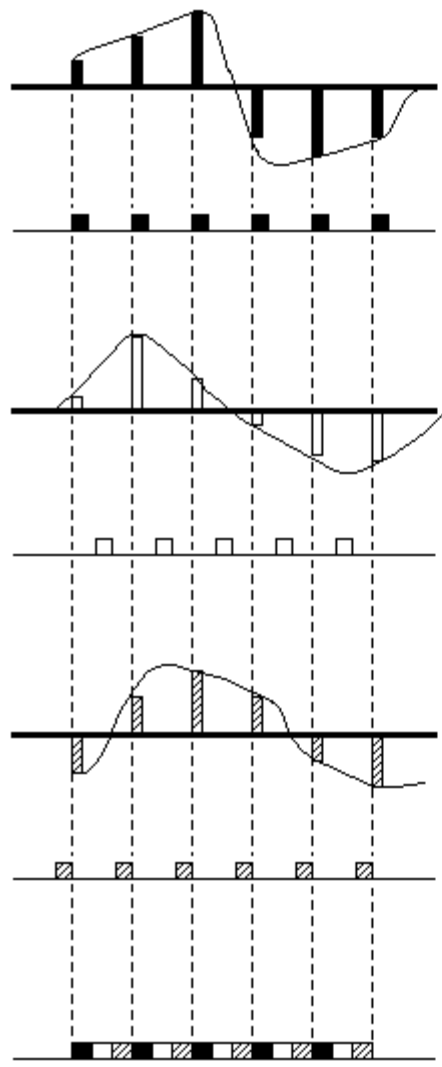
Se toman muestras de las señales de entrada y se **intercalan** en el canal común



TDM: Múltiplex por División de Tiempo

Multiplexación de tres señales

UIT: dos sistemas
30 canales (Europa)
24 canales (USA)



SEÑAL 1

INTERVALOS DE TIEMPO DE SEÑAL DE CANAL 1

SEÑAL 2

INTERVALOS DE TIEMPO DE SEÑAL DE CANAL 2

SEÑAL 3

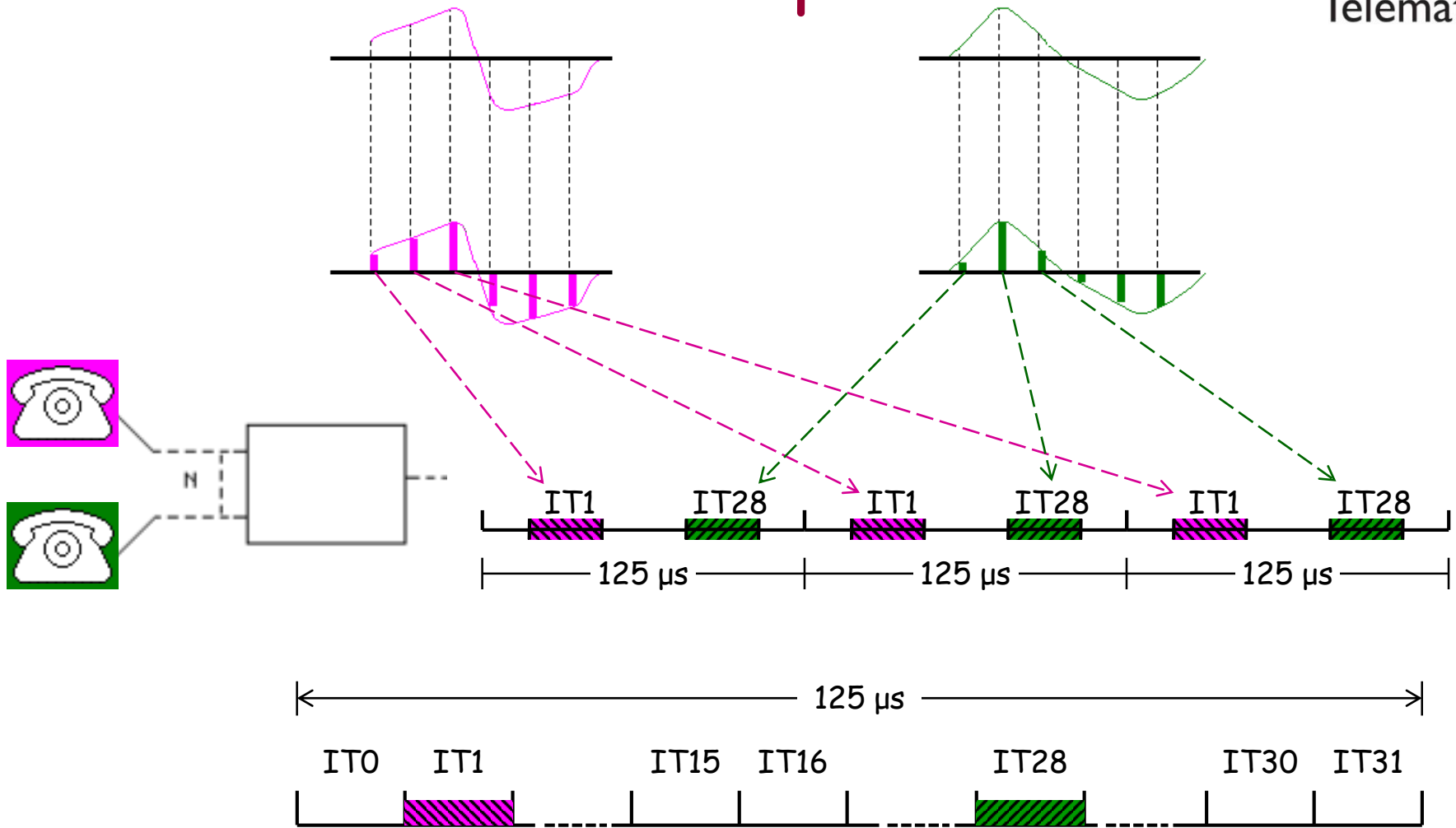
INTERVALOS DE TIEMPO DE SEÑAL DE CANAL 3

MULTIPLEXACION DE LOS INTERVALOS DE TIEMPO DE CANAL

TDM: Múltiplex por División de Tiempo

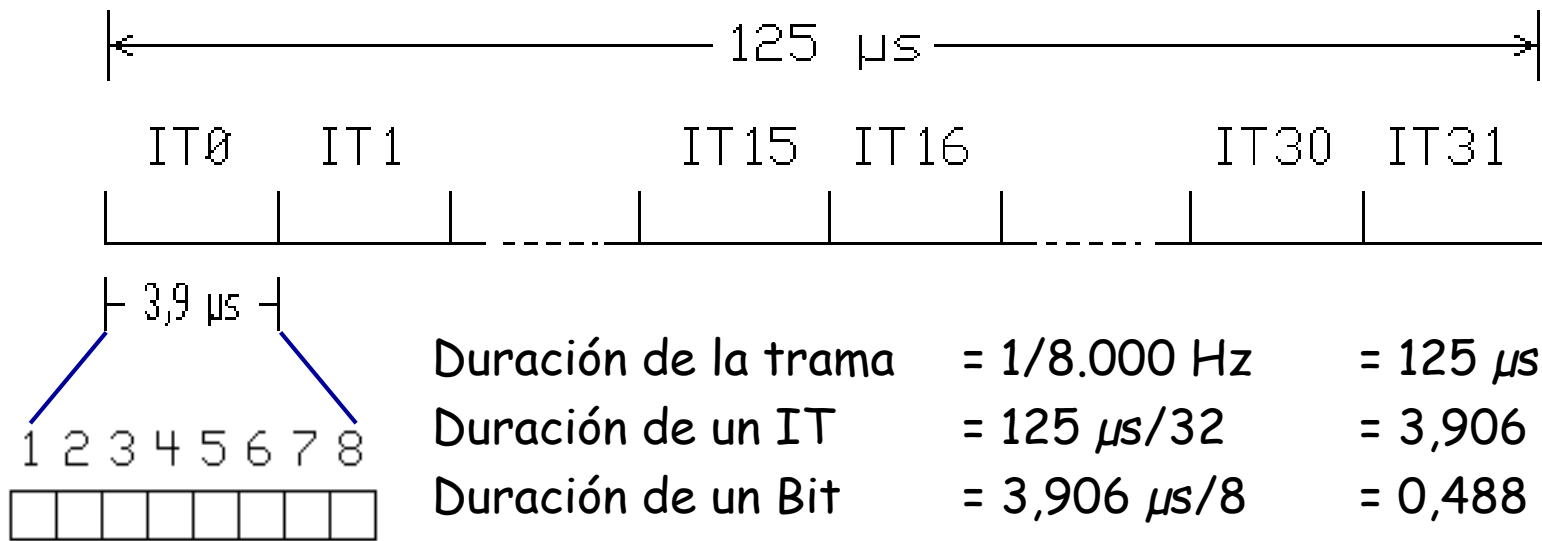


Departamento de Telemática



Sistema Múltiplex MIC30

Estructura de la trama E1



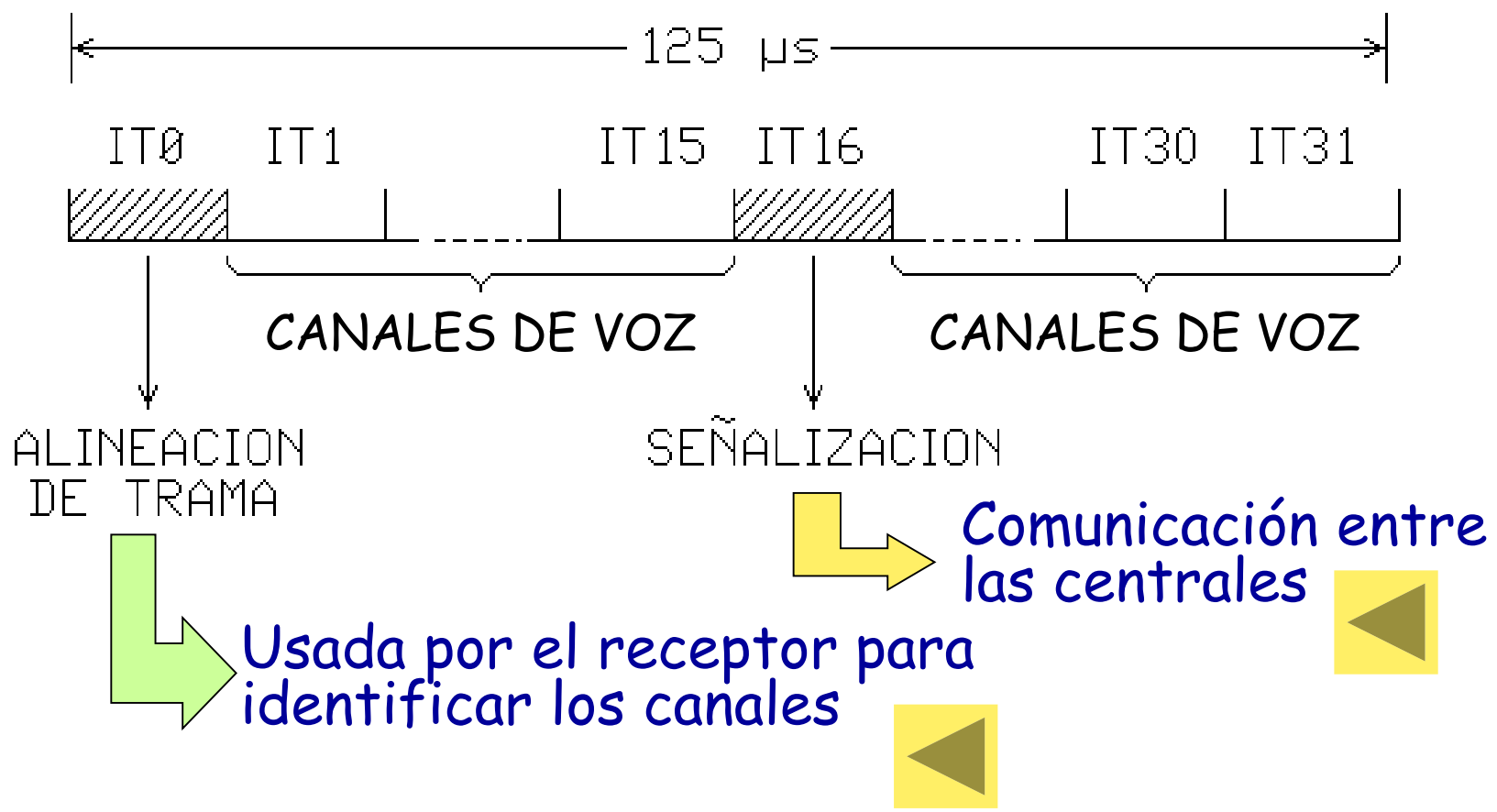
Duración de la trama	= $1/8.000 \text{ Hz}$	= $125 \mu\text{s}$
Duración de un IT	= $125 \mu\text{s}/32$	= $3,906 \mu\text{s}$
Duración de un Bit	= $3,906 \mu\text{s}/8$	= $0,488 \mu\text{s}$
Velocidad de bit	= $1/0,488 \mu\text{s}$	= 2.048 Kbps

Velocidad de canal = $8.000 \text{ muestras/s} \times 8 \text{ bits/muestra}$

Velocidad de canal = **64 Kbps**

Sistema Múltiplex MIC30

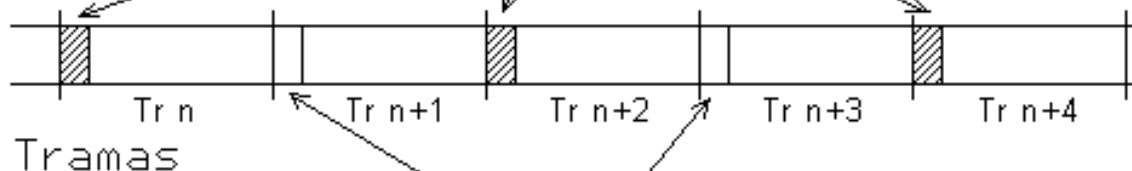
Estructura de la trama E1



Asignación de los bits del ITØ en MIC30

1	2	3	4	5	6	7	8
Si	0	0	1	1	0	1	1

ITØ con alineación de trama



1	2	3	4	5	6	7	8
Si	1	A	Sn	Sn	Sn	Sn	Sn

ITØ sin alineación de trama

Si: Reservado para uso internacional

Bit 2: Evita la simulación de la señal de alineación de trama

A: Alarma a distancia:

0 - normal,

1 - pérdida de alineación

Sn: Reservado para uso nacional

Bit 5: Alarma por exceso en la proporción de error

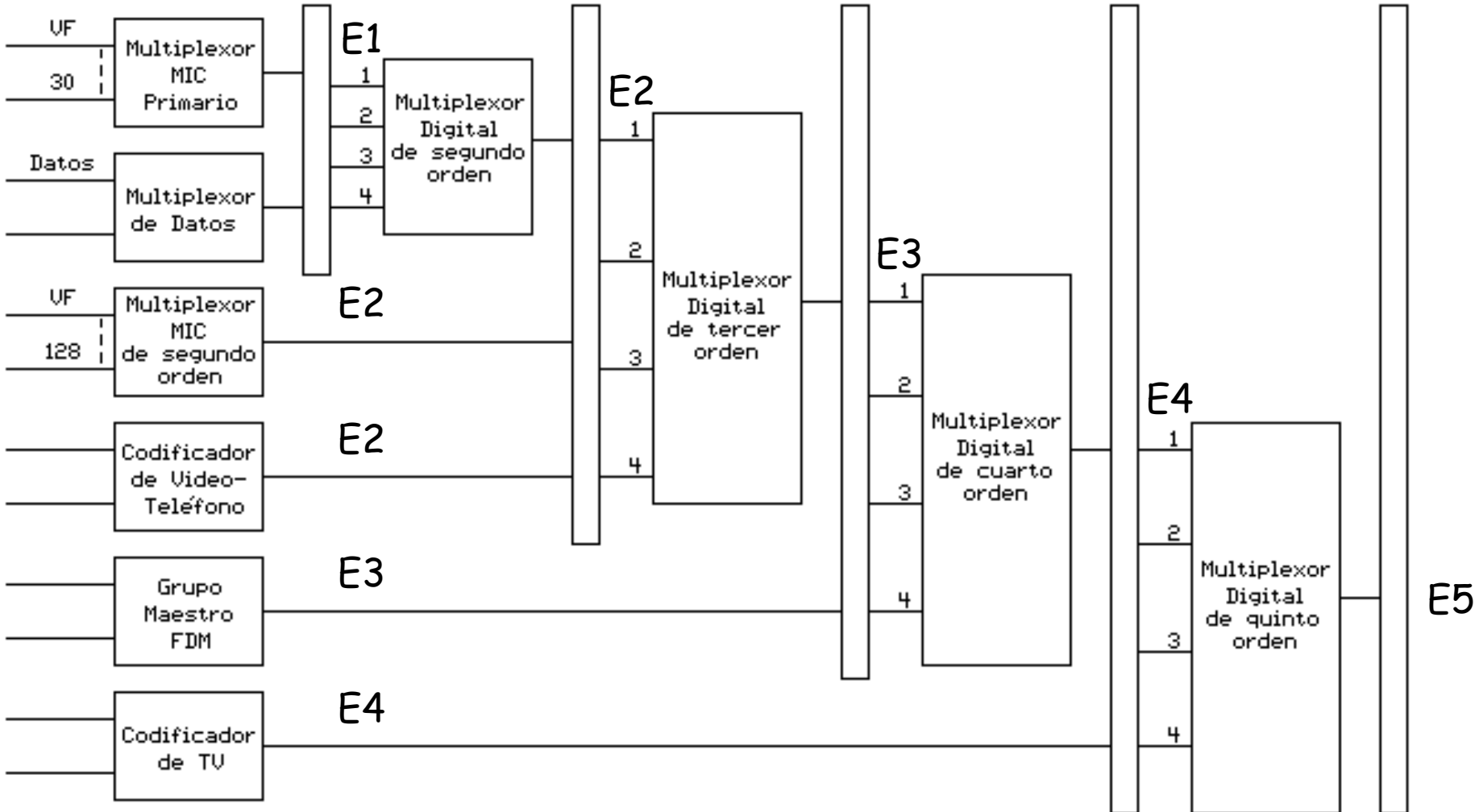
Jerarquía Digital Plesiócrons

Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)



Departamento de Telecomunicaciones

1^{er} orden 2,048 Mbps 2^o orden 8,448 Mbps 3^{er} orden ~34 Mbps 4^o orden ~140 Mbps 5^o orden (~560 Mbps)





Jerarquía Digital Plesiócrons

Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)

Jerarquía Múltiplex MIC30 (2.048 Kpbs)

Orden	Canales	Tasa (Kbps)	Factor
E1	30	2.048	--
E2	120	8.448	4
E3	480	34.368	4
E4	1.920	139.264	4
E5	7.680	565.148	4

Jerarquía Múltiplex MIC24 (1.544 Kbps)

Orden	Canales	Tasa (Kbps)	Factor
T1	24	1.544	--
T2	96	6.312	4
T3	672	44.736	7 (1)
T4	4.032	274.176	6 (1)
J3	480	32.064	5 (2)
J4	1.440	97.728	3 (2)
J5	5.760	397.200	4 (2)

(1) Utilizada en Norteamérica.

(2) Utilizada en Japón.



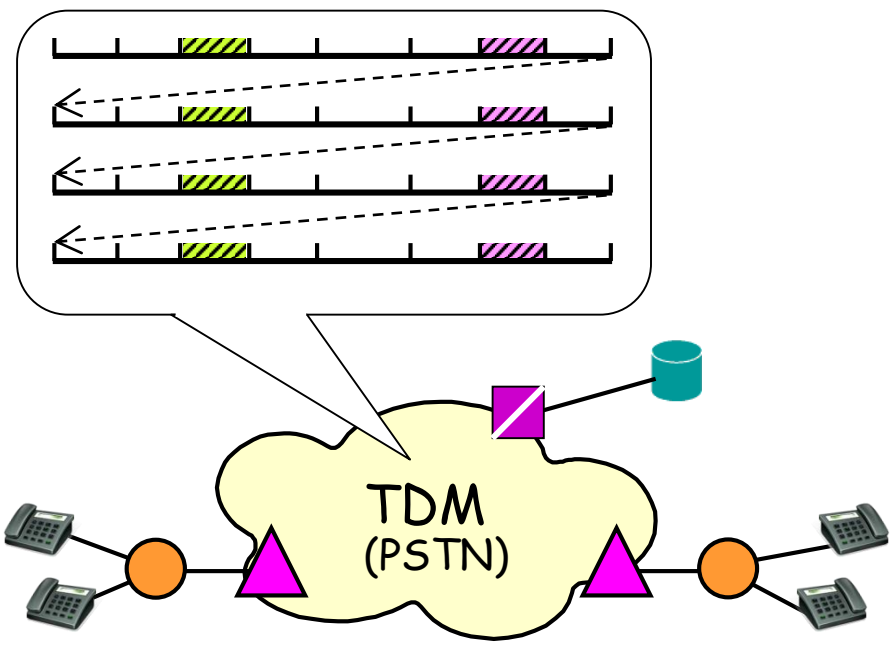
Jerarquía Digital Síncrona (SDH)

Nivel	Velocidad de bit	Vel. Abrev.	Ejemplos de capacidad
STM-0	51,84 Mbps	51 Mbps	1 E3 ó 21 E1
STM-1	155,52 Mbps	155 Mbps	1 E4 ó 3 E3 ó 63 E1
STM-4	622,08 Mbps	622 Mbps	4 E4 ó 12 E3 ó 252 E1
STM-16	2.488,32 Mbps	2,5 Gbps	16 E4 ó 1.008 E1
STM-64	9.953,28 Mbps	10 Gbps	64 E4 ó 4.032 E1
STM-256	39.813,12 Mbps	40 Gbps	256 E4 ó 16.126 E1

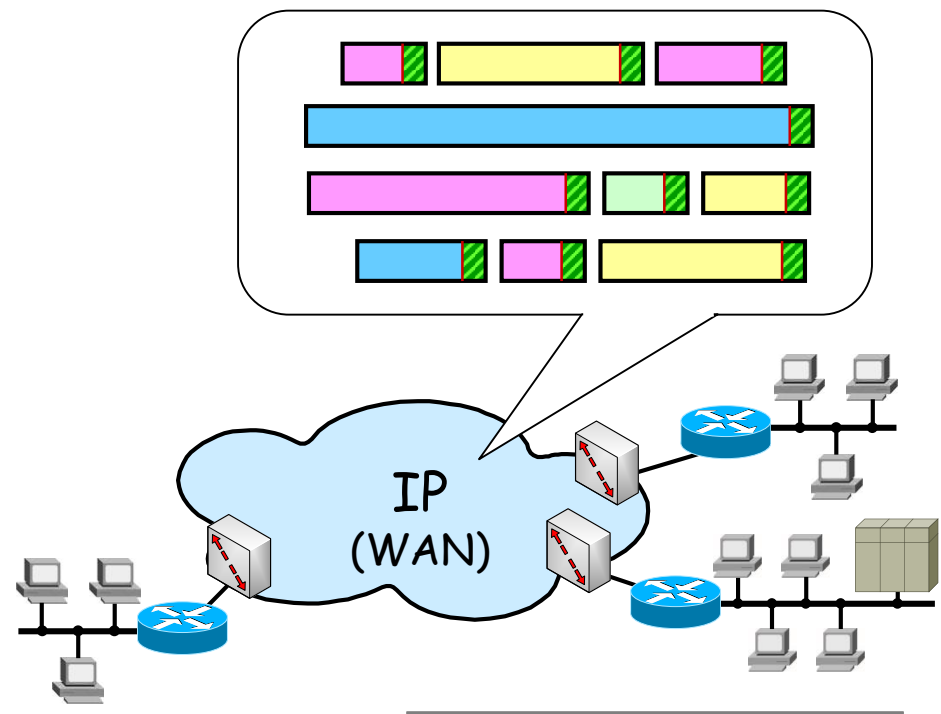
Canales: 480.000 aprox.

- E1:** 32 octetos en 125 μ s 2 Mbps
- STM-1:** 2.430 octetos en 125 μ s 155 Mbps

Redes TDM vs IP



Red de conmutación de circuitos



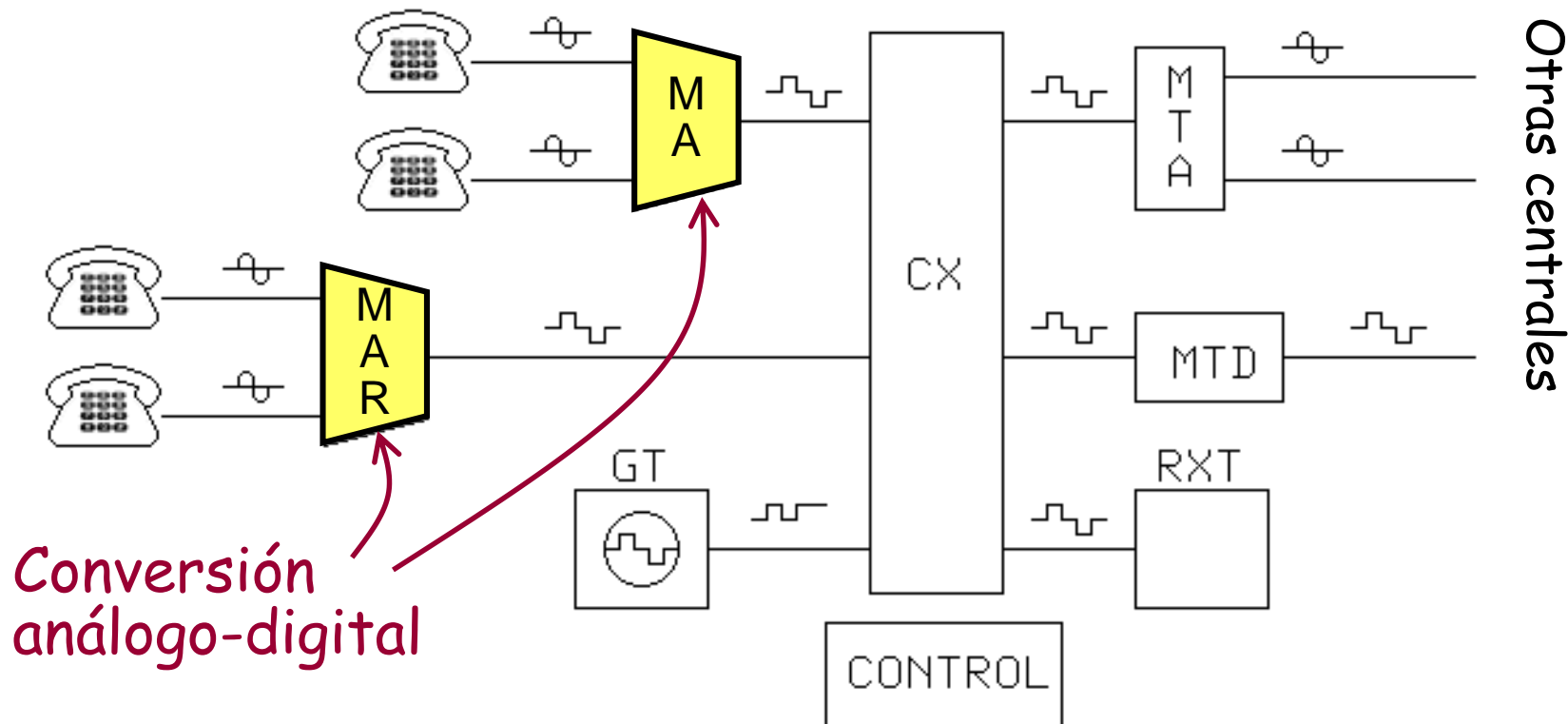
Red de conmutación de paquetes

Temario

- **Modulación por Impulsos Codificados**
 - Muestreo, Cuantificación, Codificación
 - Adaptación a la línea
 - Multiplexación (TDM): PDH, SDH
- **Función BORSCHT**
 - Interfaz de línea de abonado
 - Bloques funcionales
- **Acceso RDSI/ISDN**
 - Introducción a RDSI/ISDN
 - Configuración de referencia
 - Interfaces S/T y U

Interfaz de Línea de Abonado

Central telefónica digital



Conversión
análogo-digital

MA: Módulo de Abonados

MAR: Módulo de Abonados Remoto

MTA: Módulo de Troncales Analógicas

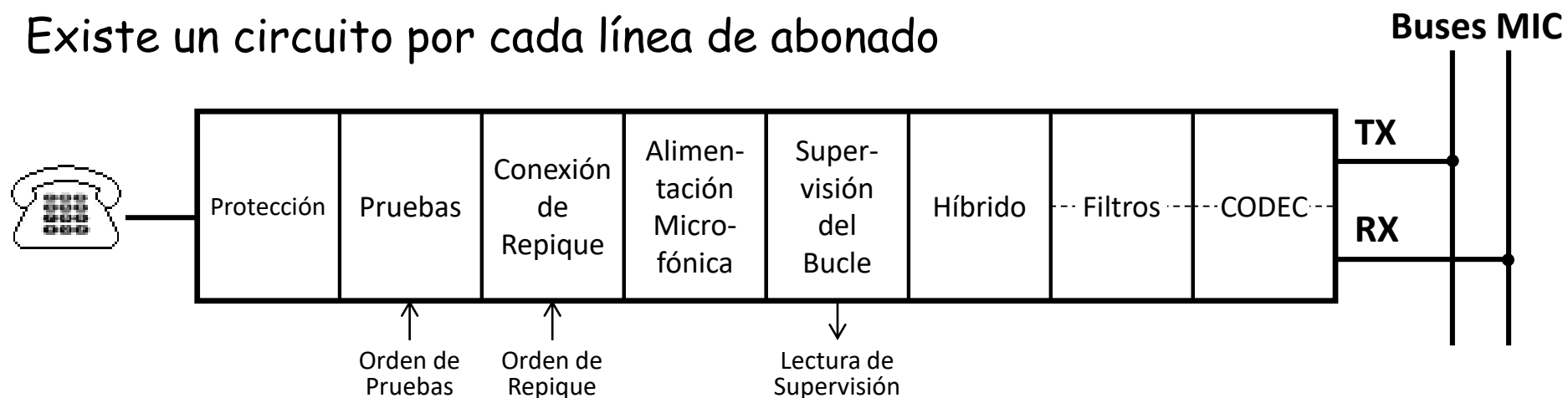
MTD: Módulo de Troncales Digitales

GT: Generador de Tonos

RxT: Receptor de Tonos

Interfaz de Línea de Abonado

Existe un circuito por cada línea de abonado

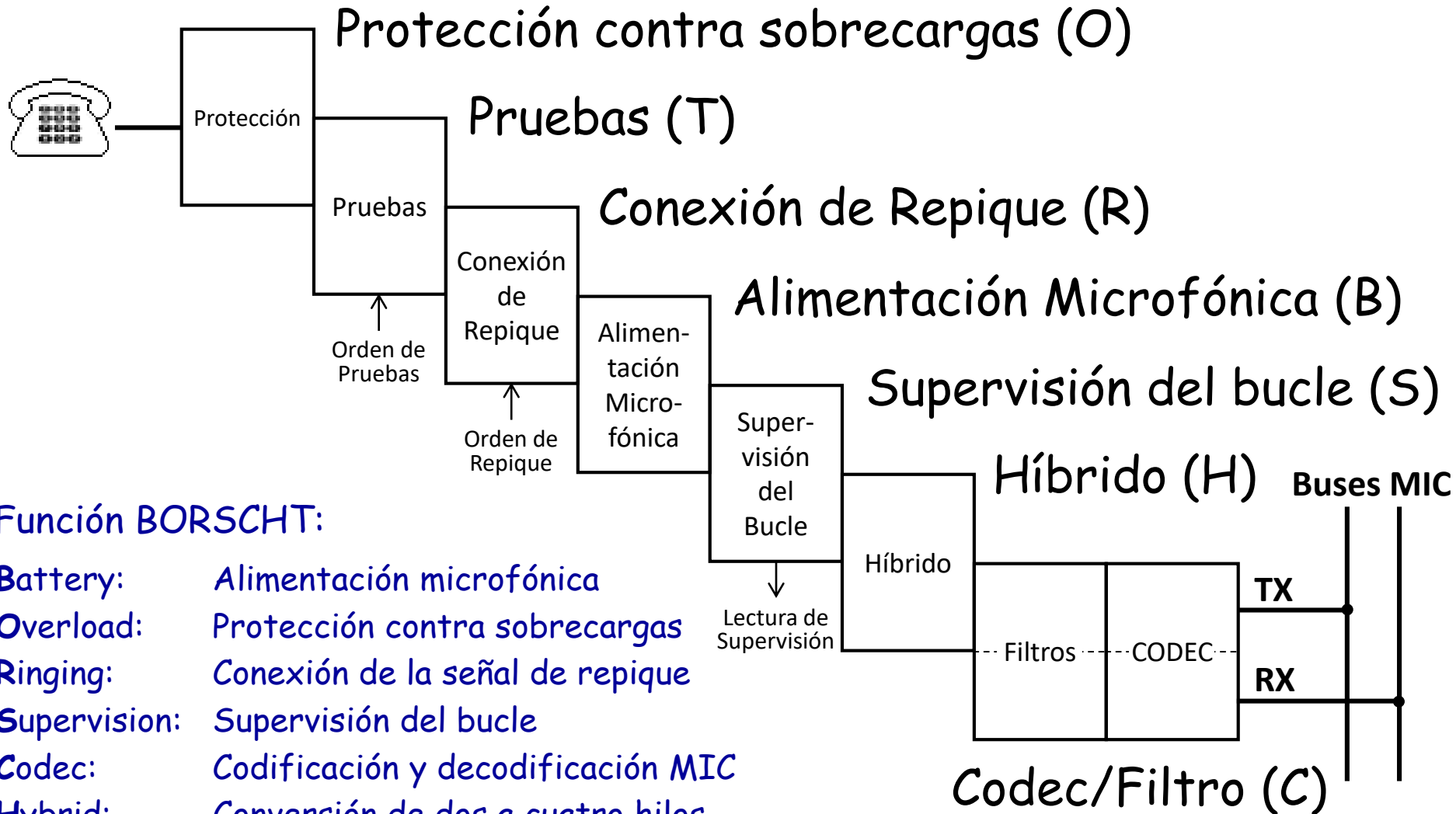


Una tarjeta de línea contiene múltiples interfaces

AXE LIC



Interfaz de Línea de Abonado



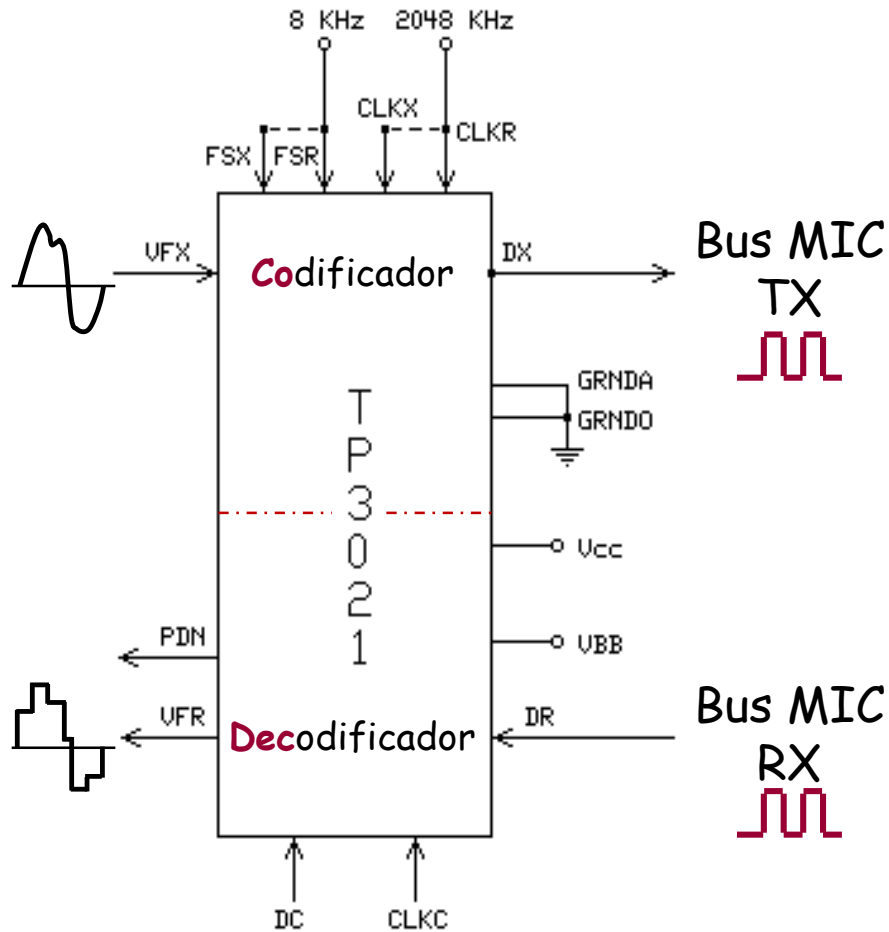
Función BORSCHT:

Battery:	Alimentación microfónica
Overload:	Protección contra sobrecargas
Ringing:	Conexión de la señal de repique
Supervision:	Supervisión del bucle
Codec:	Codificación y decodificación MIC
Hybrid:	Conversión de dos a cuatro hilos
Test:	Conexión al equipo de pruebas



Codec

Codificador/Decodificador



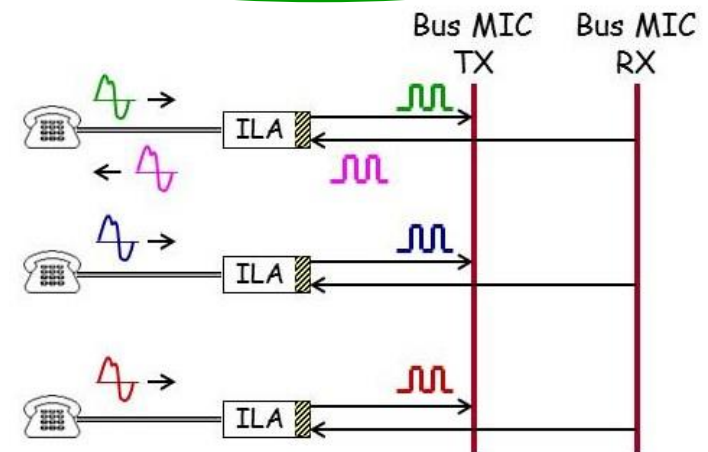
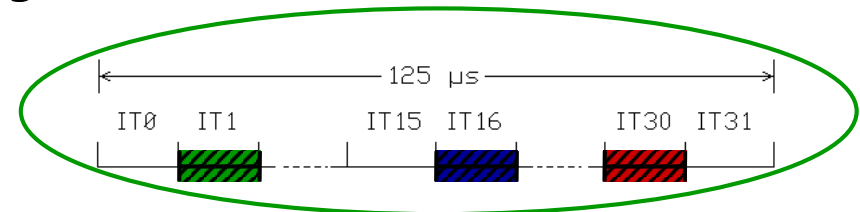
Cada Codec debe ser programado para la transmisión y recepción de los octetos

Codificador (transmisión):

Toma muestras de la señal análoga y genera un octeto cada 125 μ s

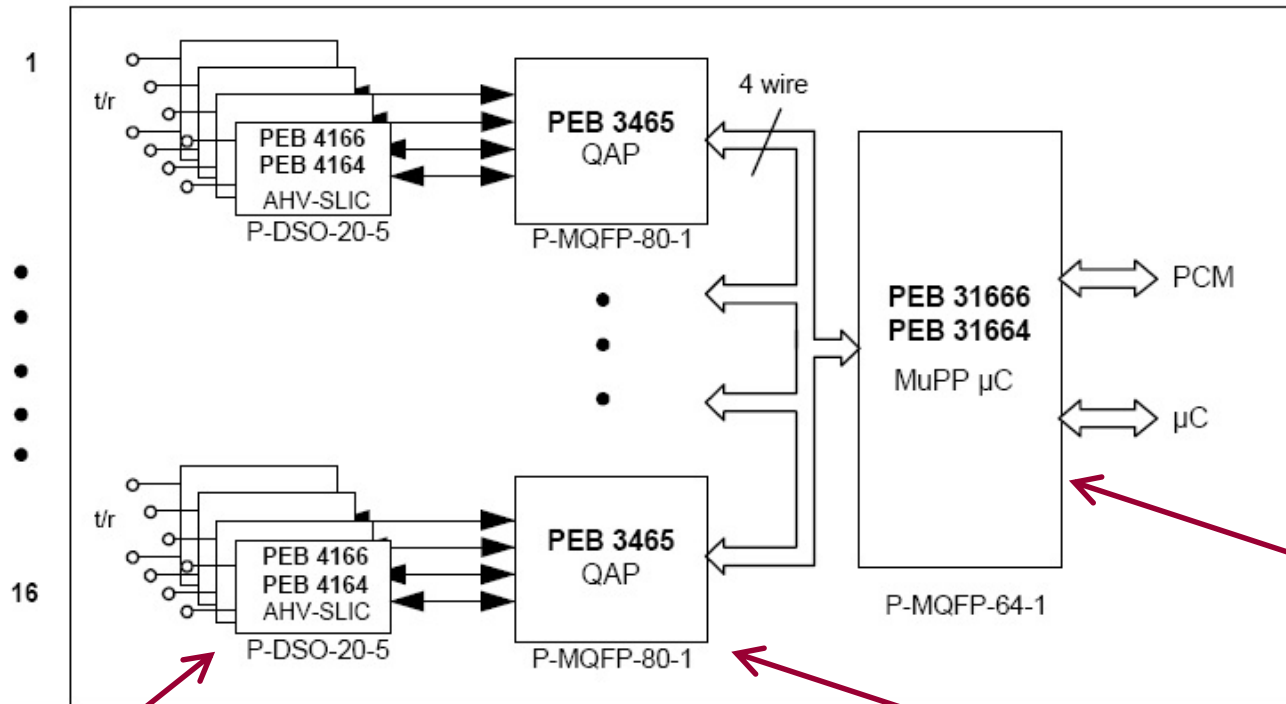
Decodificador (recepción):

Recibe un octeto cada 125 μ s y genera una señal PAM





Tarjeta para 16 abonados análogos



Procesador Digital de Señales (DSP)

SLIC (Subscriber Line Interface Circuit): Funciones BRSHT

QAP (Quadruple Analog POTS*):
Convertor A/D para líneas telefónicas

*POTS: Plan Old Telephone Service
(Telefonía Básica)

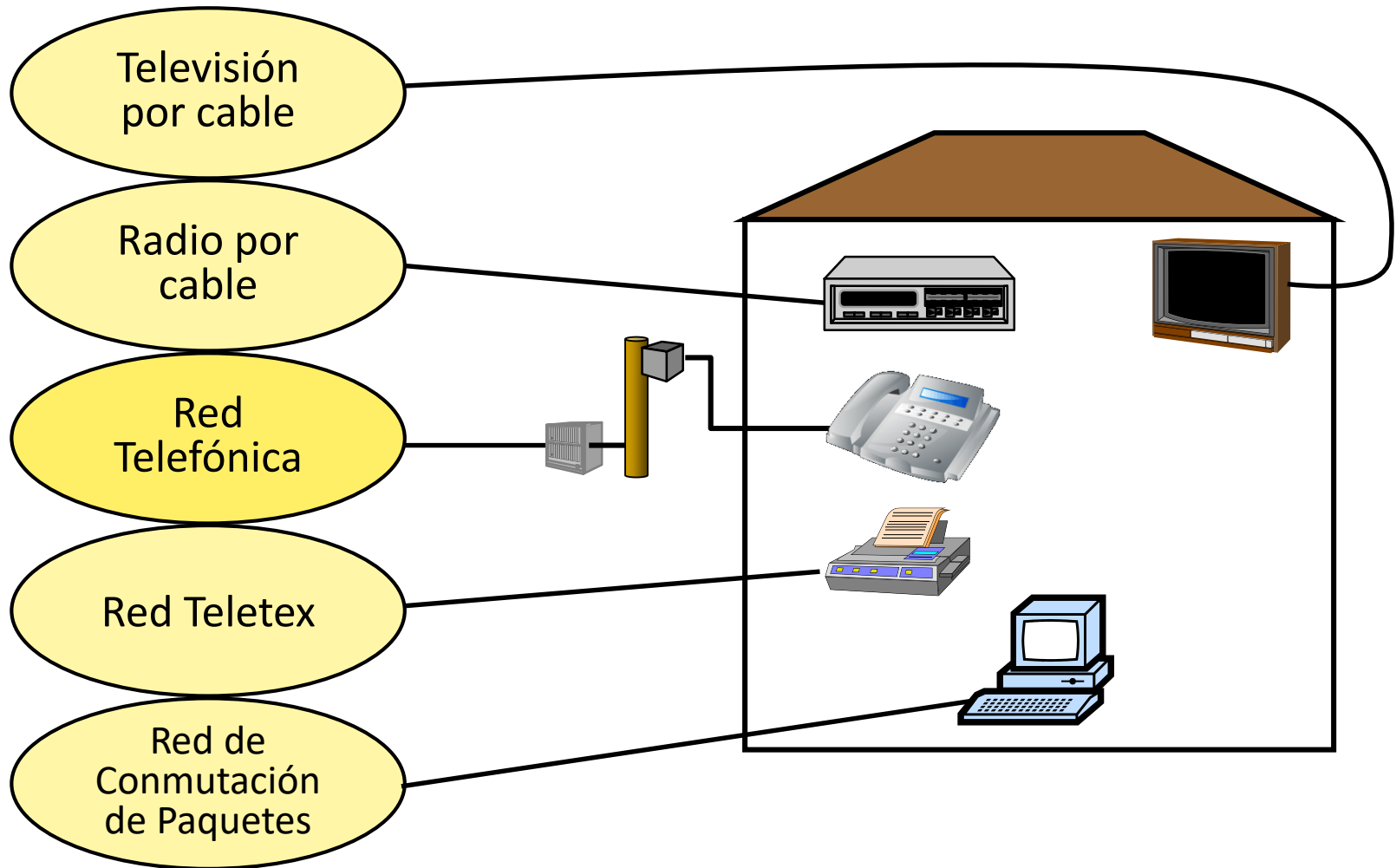
Temario

- **Modulación por Impulsos Codificados**
 - Muestreo, Cuantificación, Codificación
 - Adaptación a la línea
 - Multiplexación (TDM): PDH, SDH
- **Función BORSCHT**
 - Interfaz de línea de abonado
 - Bloques funcionales
- **Acceso RDSI/ISDN**
 - Introducción a RDSI/ISDN
 - Configuración de referencia
 - Interfaces S/T y U

Red Digital de Servicios Integrados (RDSI/ISDN)



Departamento de Telemática

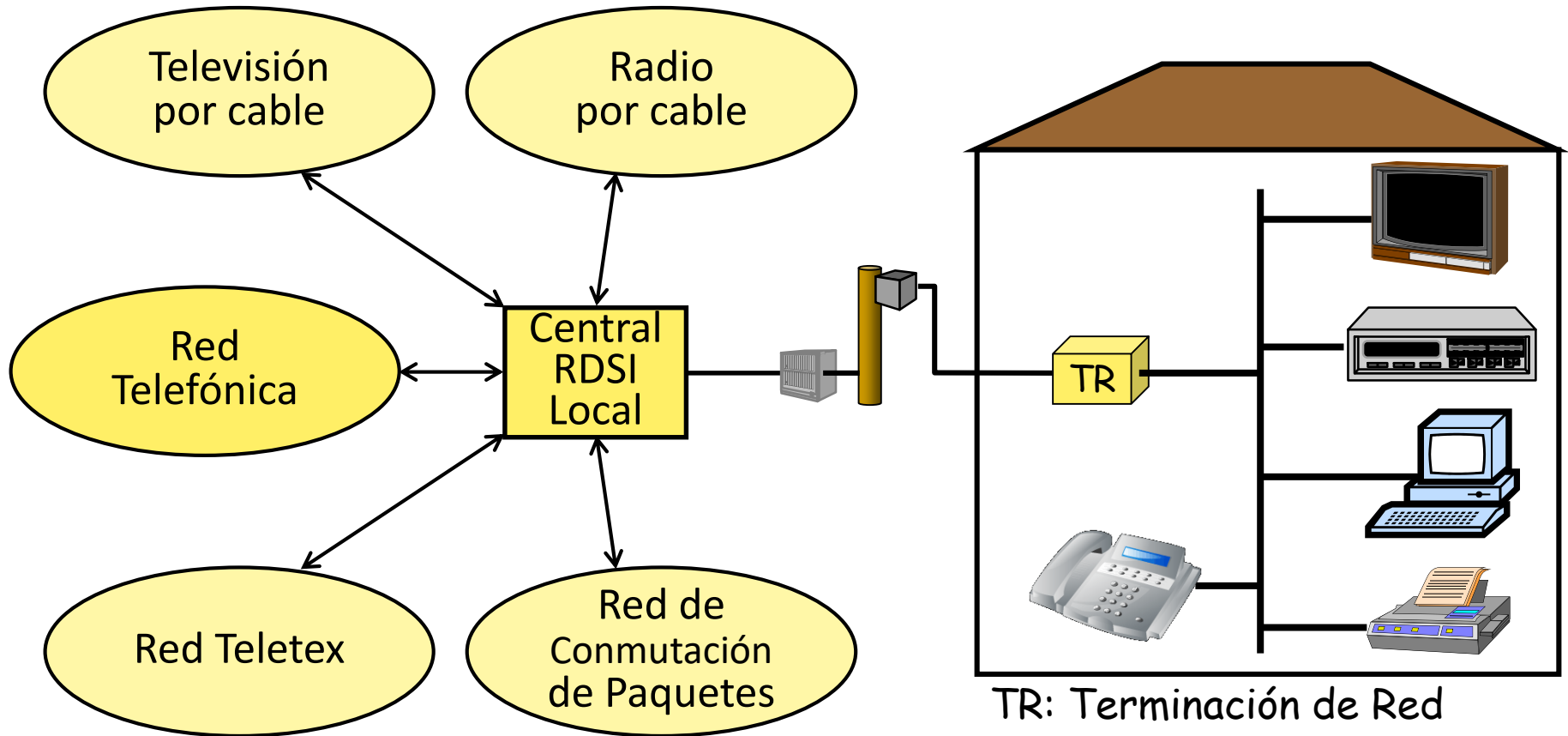


Acceso independiente a las redes y servicios

Red Digital de Servicios Integrados (RDSI/ISDN)



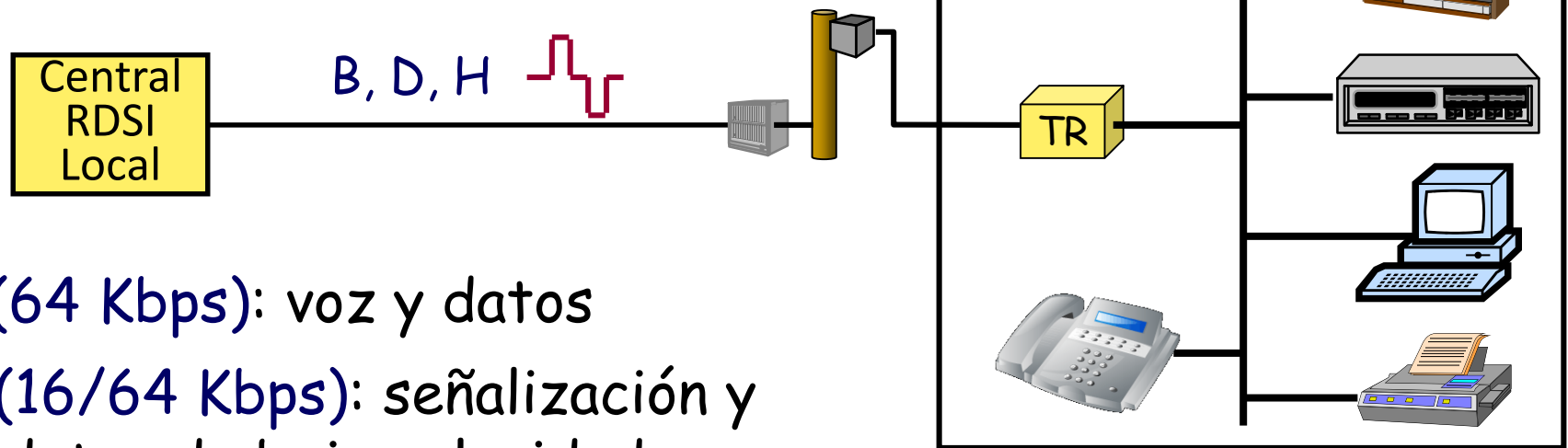
Departamento de Telemática



Acceso integrado a las redes y servicios

Red Digital de Servicios Integrados (RDSI/ISDN)

Acceso digital con tres tipos de canales:



B (64 Kbps): voz y datos

D (16/64 Kbps): señalización y datos de baja velocidad

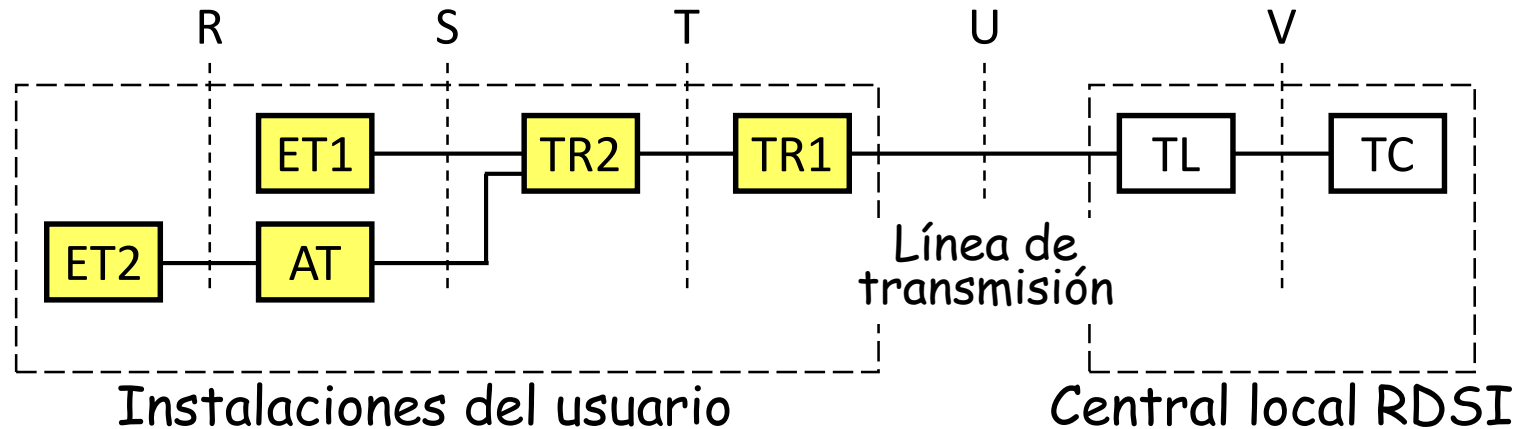
H (384/1.536/1.920 Kbps): video, sonido alta calidad, datos alta velocidad, etc.

TR: Terminación de Red



Configuraciones de referencia del acceso usuario-red

Configuración general



Grupos funcionales:

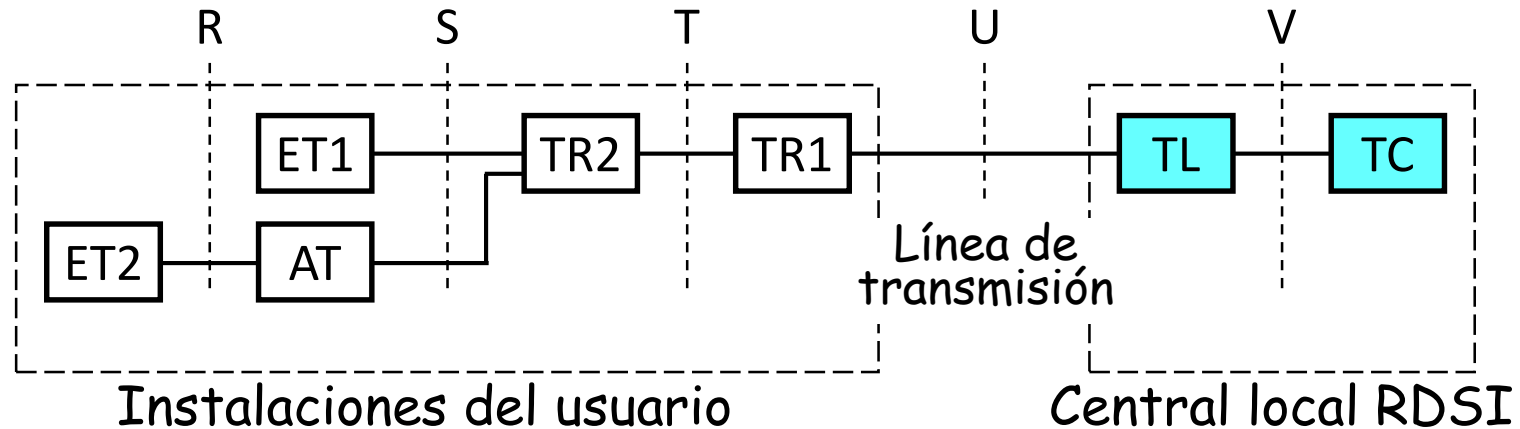
ET1: Equipo Terminal RDSI
 ET2: Equipo Terminal no RDSI
 AT: Adaptador de Terminal

TR1: Terminación de Red capa 1
 (línea de transmisión)
 TR2: Terminación de Red capas 2 y 3
 (conmutación, multiplexación, etc.).
 Ejs: PBX, LAN



Configuraciones de referencia del acceso usuario-red

Configuración general



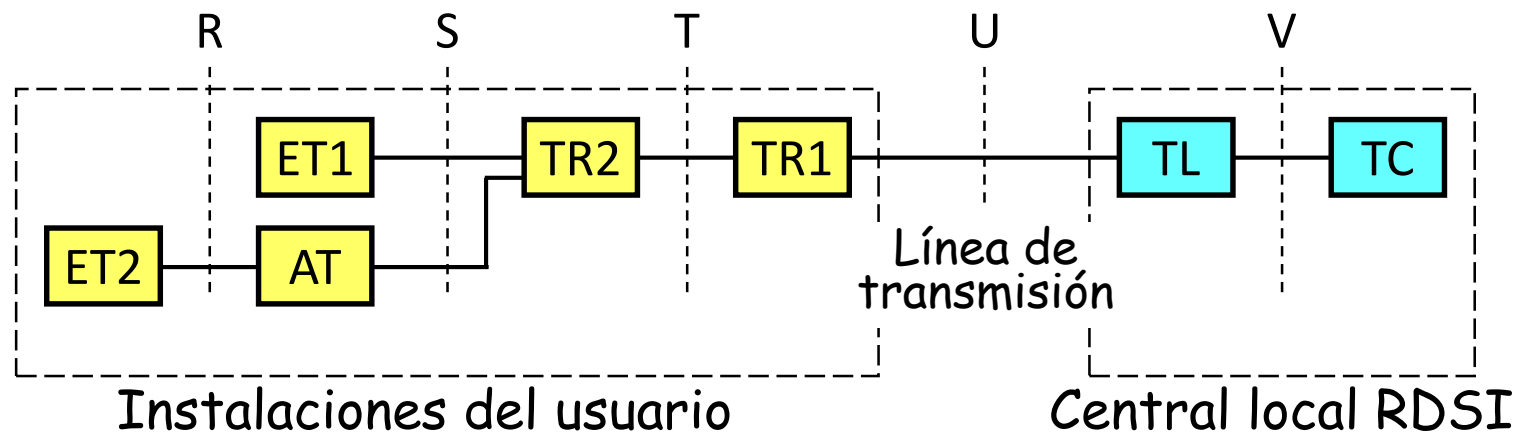
Grupos funcionales:

TL: Terminación de Línea (capa 1: línea de transmisión)

TC: Terminación de Central (capas 2 y 3: señalización)

Configuraciones de referencia del acceso usuario-red

Configuración general



Puntos de referencia:

R: Interfaz no RDSI

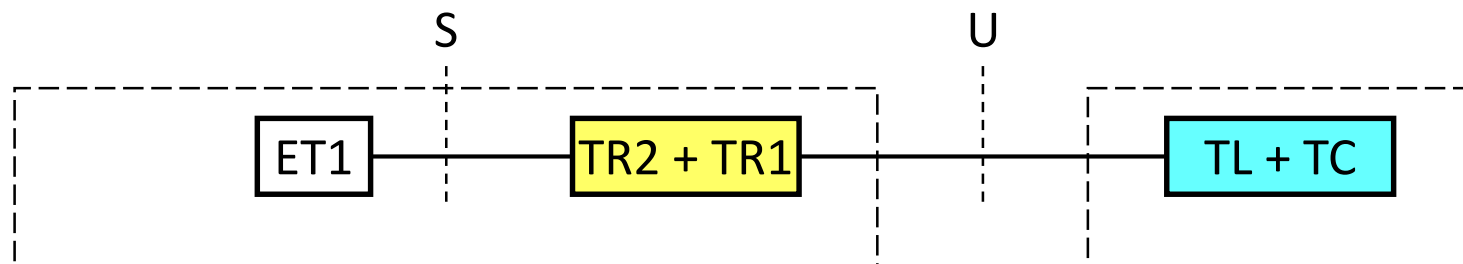
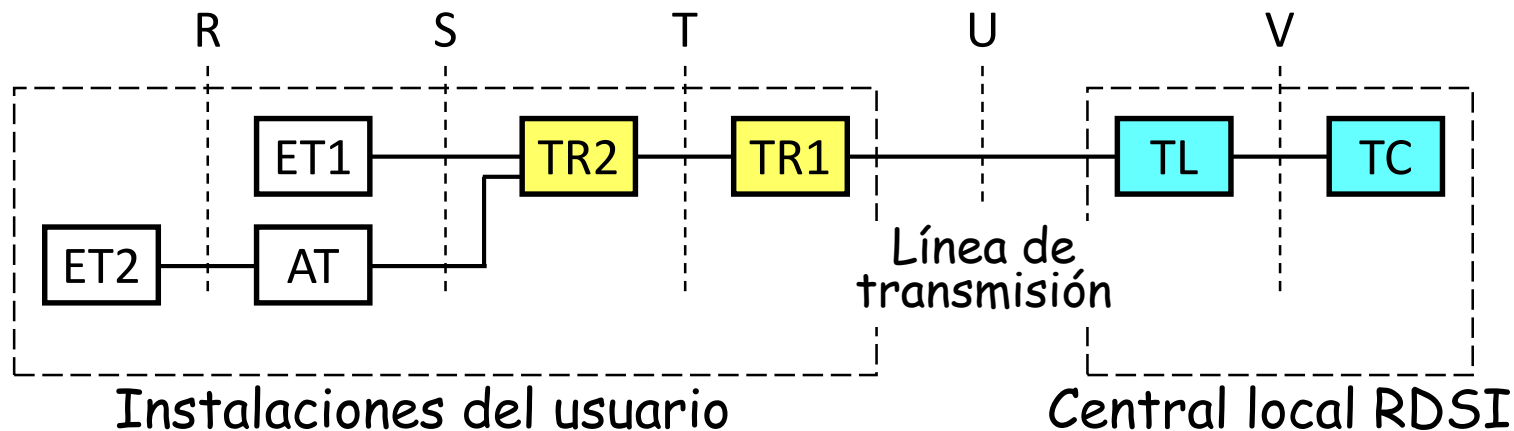
S: Interfaz estándar RDSI

T: Equivalente al punto S

U: Línea de transmisión usuario-red

V: Frontera entre señalización/
conmutación y acceso digital

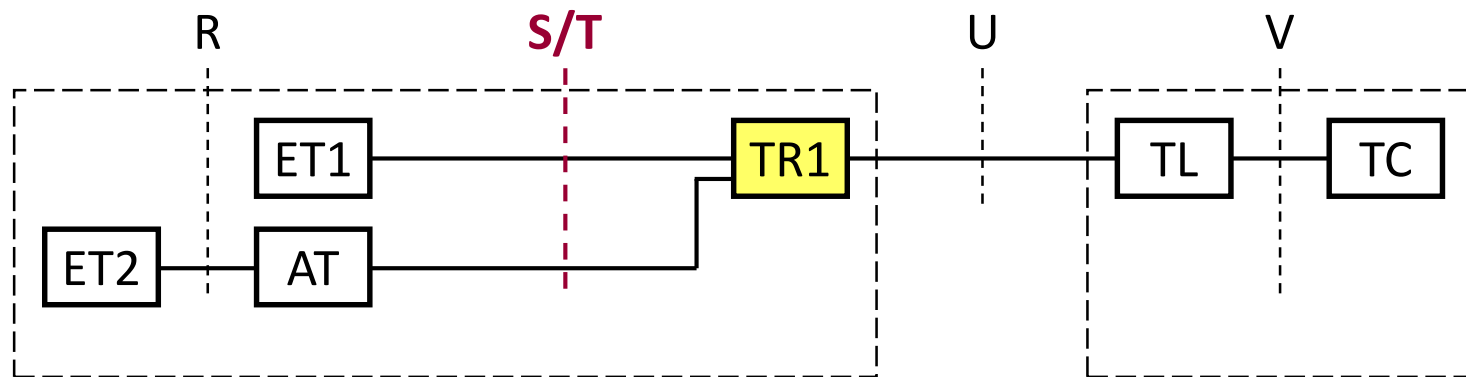
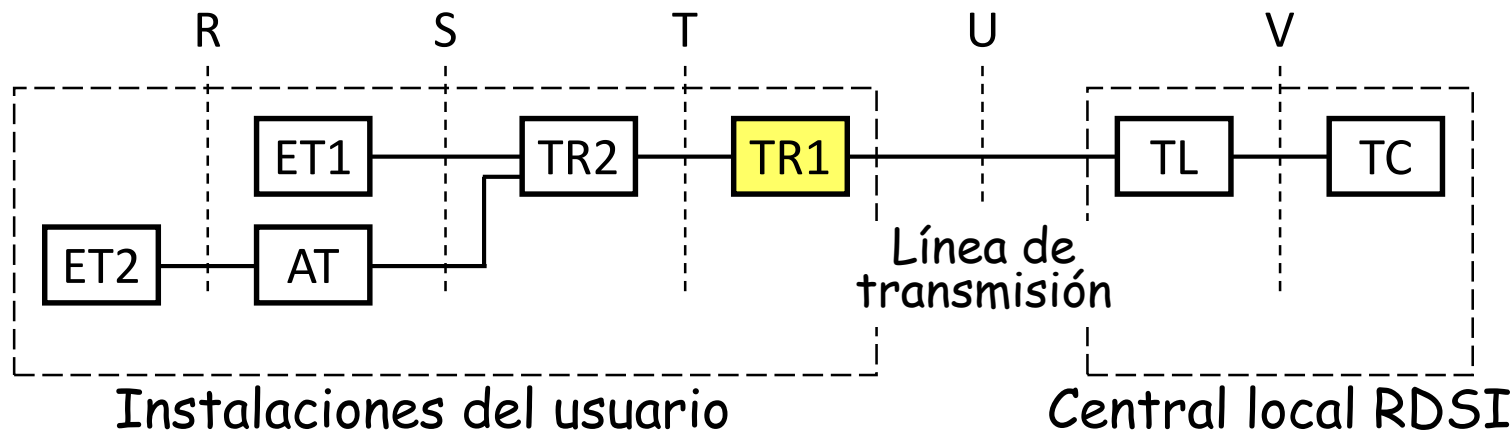
Configuraciones de referencia del acceso usuario-red



Un equipo puede reunir varios grupos funcionales:

- TR2+TR1: PBX RDSI
- TL+TC: Tarjeta de abonado RDSI

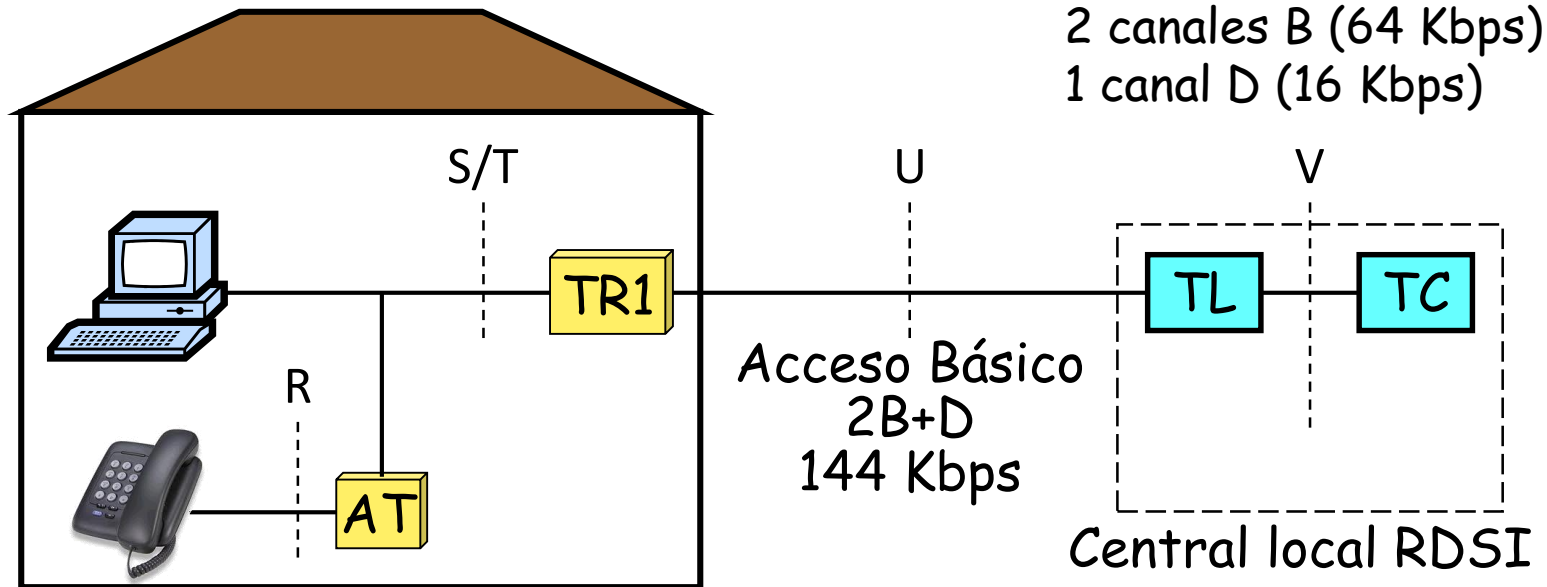
Configuraciones de referencia del acceso usuario-red



En ausencia de TR2 coinciden los puntos S y T:
Instalación de abonado residencial



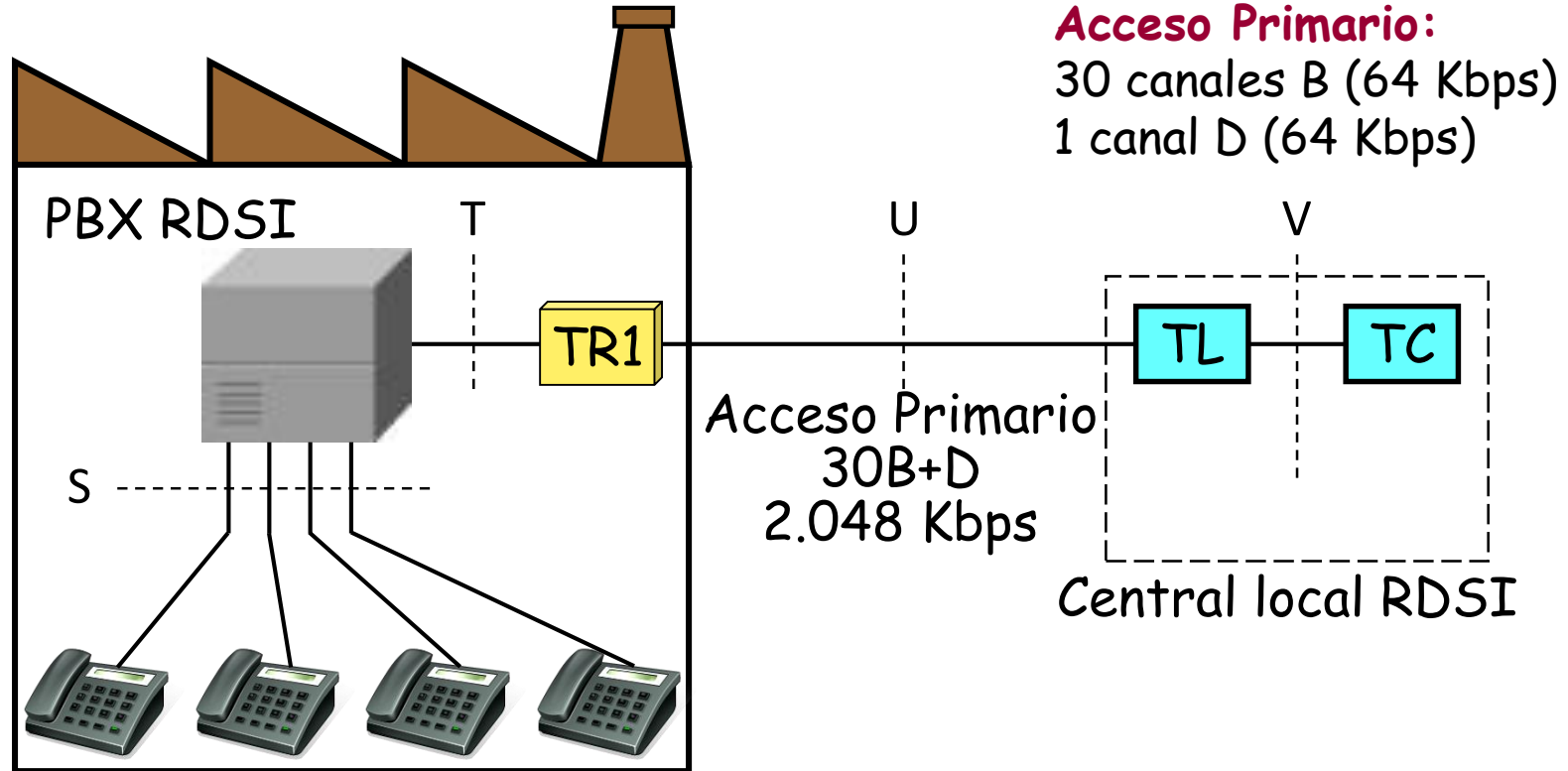
Instalación domiciliaria con acceso básico y TR1



Interfaz U: línea de abonado normal digitalizada
 Canales B: voz/datos, Canal D: señalización/datos
 8 terminales max. Hogares, SOHO (*Small Office
 Home Office*)



Instalación corporativa con acceso primario y TR2



Interfaz U: Enlace E1 (2.048 Kbps)
Canales B: voz/datos, Canal D: sólo señalización



Bibliografía

- A. Rendón (2010). "Digitalización de las señales de abonado". En: "Sistemas de Conmutación: Fundamentos y Tecnologías", Cap. 2, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- John Bellamy (2000). "Digital Telephony". 3rd edition. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Bhatnagar, P.K. (1997). Engineering Networks for Synchronization, CCS 7, and ISDN: Standards, Protocols, Planning, and Testing. IEEE Press, Piscataway, USA.
- M. P. Clark (1998). "Networks and Telecommunications. Design and Operation". Second Edition. John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- UIT-T. Recomendaciones de la Serie G -Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.
- UIT-T. Recomendaciones de la Serie I - Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).